

Universidad de **Cádiz**

Proyectos de fin de carrera de **Ingeniería Química**

Facultad: CIENCIAS

Titulación: INGENIERÍA QUÍMICA

Titulo: APLICACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS DE "LEAN MANUFACTURING" EN EL ÁREA DE FIBER PLACEMENT DE UNA PLANTA AERONÁUTICA

Autora: Lidia CALVO CHANIVET

Fecha: Junio 2009





RESUMEN DEL PROYECTO

Con este proyecto se pretende proponer y desarrollar una serie de mejoras en el proceso de producción en el que interviene la máquina de laminado automático "*Fiber Placement*".

La metodología utilizada para decidir las mejoras necesarias y llevarlas a cabo es el "Lean Manufacturing", que tiene como objetivo la reducción de costes, la reducción de los desperdicios que tienen lugar en la producción y la mejora de los procesos. Para ello utiliza una serie de herramientas de gestión que buscan en todo momento la mejora continua del proceso. En definitiva el "Lean Manufacturing" está orientado a la máxima satisfacción del cliente, tomándolo como centro y referencia de todo el proceso.

Inicialmente se analizara la situación existente en el área para poder detectar deficiencias y desperdicios, de forma que se actúe en las partes del proceso más susceptibles de mejora y que con el mínimo de recursos se solucionen el máximo de problemas.

El proyecto básicamente sigue unas etapas a través de las cuales llegaremos al objetivo inicial:

1. Exposición teórica de la filosofía Lean Manufacturing e introducción a los materiales compuestos. En primer lugar se describen todas las herramientas que podrán ser utilizadas posteriormente para el análisis y la mejora del proceso productivo, pertenecientes a la filosofía Lean y en segundo lugar se expondrá una pequeña introducción a la teoría de los materiales compuestos (características, métodos de fabricación...).

2. Estudio del proceso productivo. Una vez que se conoce la teoría necesaria para pasar a la acción, se procede a analizar a fondo el proceso productivo completo de las piezas fabricadas mediante tecnología

"Fiber Placement". Se estudian todas sus etapas y la forma de proceder en cada una de ellas.

3. Diagnostico inicial. Conocido el proceso hay que estudiar la situación real existente de forma que tengamos un punto de partida para comparar y para evaluar los resultados. Además, mediante este análisis se detectarán los problemas y las partes del proceso susceptibles de mejora, es decir, se identificarán los puntos donde hay que centrar la atención de la posterior gestión. Para ello se utilizan herramientas de análisis e identificación de problemas. Al final de este capítulo se tendrá un diagnóstico con el que se buscarán soluciones a los problemas encontrados.

4. Project Charter. Una vez que se sepa dónde hay que actuar, gracias a los resultados obtenidos en la etapa anterior, se procederá a la aplicación de las herramientas de mejora mediante la gestión Lean. Las propuestas de mejora se organizan en los llamados "Project Charter" que son los proyectos de mejora que engloban a varias acciones de mejora relacionadas.

A continuación se exponen los distintos proyectos de mejora y las propuestas de cada uno de ellos:

PROJECT CHARTER 1. MEJORA CONTINUA. El primer "Project Charter" es el que establece la política de mejora continua del departamento de Composites en general y más concretamente del área de "Fiber Placement". Incluye las 4 primeras propuestas de mejora:

- ✓ PROPUESTA DE MEJORA 1. Lanzamiento Plan Acciones. Tras analizar los desperdicios más importantes existentes, se decide entre todo el equipo de trabajo Lean llevar a cabo una serie de tareas con las que se conseguirá acabar con esos desperdicios. Todas esas oportunidades se recogen en un cuadro llamado "Plan de acciones".

- ✓ PROPUESTA DE MEJORA 2. Formación. Se analizan las necesidades formativas que tiene el personal para poder desarrollar este proyecto de Lean y se acuerda con el departamento de RR.HH. todas las acciones formativas que van a desarrollarse dentro del proyecto.
- ✓ PROPUESTA DE MEJORA 3. Definir "Project Charter". Se decide el resto de proyectos de mejora que son necesarios desarrollar en el área.
- ✓ PROPUESTA DE MEJORA 4. Creación de círculos de calidad. Se integra en la organización la cultura de las reuniones periódicas del personal del área para integrar mejoras de forma continua y solucionar problemas surgidos en el día a día.

PROJECT CHARTER 2. "HOUSE-KEEPING". El "House-Keeping" hace referencia al mantenimiento del orden, la limpieza y la organización en las empresas. Para desarrollar este proyecto es necesario hacer uso de 2 herramientas muy importantes en Lean, las 5S's y la gestión visual.

- ✓ PROPUESTA DE MEJORA 5. Implantación 5S's. Mediante esta metodología se conseguirá el mantenimiento del orden y la limpieza del puesto de trabajo, siguiendo los cinco pasos que describe este método que son:

Seiri → Clasificar

Seiton → Ordenar

Seiso → Limpiar y mantener

Seiketsu → Estandarizar

Shitsuke → Disciplina y hábito

- ✓ PROPUESTA DE MEJORA 6. Implantación Gestión Visual. El objetivo de la gestión visual es que todo lo que se realice en el puesto de trabajo venga originado por una orden visual. Esto facilita la detección de errores de forma temprana. Además permite al trabajador conocer en todo

momento el objetivo de producción y aprender a autogestionarse por lo que su implicación aumenta.

PROJECT CHARTER 3. MEJORA DEL RENDIMIENTO EN F.P. Se centra en la optimización de las máquinas de laminado automático, concretamente se busca aumentar su disponibilidad.

- ✓ PROPUESTA DE MEJORA 7. Control y análisis de paradas. Se crea un sistema de recogida y análisis de datos y haciendo uso del indicador OEE se podrá conocer el tiempo que las máquinas realmente funciona correctamente y evaluar los resultados de las acciones de mejora propuestas y llevadas a cabo.
- ✓ PROPUESTA DE MEJORA 8. Aplicación técnica SMED. Se hará uso de esta herramienta para disminuir al máximo el tiempo de cambio de útil en las máquinas de laminado automático.
- ✓ PROPUESTA DE MEJORA 9. Mantenimiento Autónomo. Se pretende integrar en el trabajo diario de los operadores de máquina diversas tareas de mantenimiento de forma que no se dependa tanto del personal de mantenimiento.
- ✓ PROPUESTA DE MEJORA 10. Autonomatización. Este proyecto se plantea a largo plazo y se busca que la máquina detecte cualquier fallo o desviación, se detenga automáticamente y avise al operador.

Una vez finalizados los proyectos de mejora se muestran las conclusiones finales, en las que se observa las mejoras conseguidas gracias a la aplicación de la filosofía Lean.

ÍNDICE DE CONTENIDOS.

1.OBJETO, JUSTIFICACIÓN, VIABILIDAD Y ALCANCE	1
1.1.OBJETO	1
1.2.JUSTIFICACIÓN	3
1.3.VIABILIDAD	5
1.4.ALCANCE	7
2.LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO	8
3.ANTECEDENTES	13
3.1.MATERIALES COMPUESTOS	13
3.1.1.Introducción	13
3.1.2.Composición	15
3.1.3.Clasificación	16
3.1.4.Preimpregnados ("Prepregs")	18
3.1.5.Tipos de materiales preimpregnados	19
3.1.6.Características y clasificación de los preimpregnados	21
3.1.7.Materiales compuestos estructurales	23
3.1.8.Ventajas e inconvenientes del uso de materiales compuestos	25
3.2.METODOLOGÍA "LEAN MANUFACTURING"	27
3.2.1.Historia	27
3.2.2.Definición	28
3.2.3.Objetivos principales	28
3.2.4.Los siete desperdicios	30
3.2.5.Principios Lean	35
3.2.6.Herramientas Lean	42
3.2.7.Indicadores lean	70
3.2.8.Etapas de la implantación de la Filosofía Lean	75

3.3.MÉTODOS DE FABRICACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS	79
3.3.1.Introducción	79
3.3.2.Taller de fabricación de " <i>Composites</i> "	88
3.3.3.Materiales auxiliares	96
3.3.4.Introducción al proceso de laminado " <i>Fiber Placement</i> "	105
3.3.5.Ciclo de curado o polimerización	116
3.4.PROCESO DE FABRICACIÓN MEDIANTE "FIBER PLACEMENT"	121
3.4.1.Recepción y almacenaje de materiales	128
3.4.2.Ambientación del material	129
3.4.3.Corte de y preparación de kits de telas	131
3.4.4.Preparación de núcleos	135
3.4.5.Instalación y calibración del utillaje PEFP en la máquina	135
3.4.6.Preparación de utillaje	140
3.4.7.Preparaciones finales de máquina	142
3.4.8.Laminado automático mediante " <i>Fiber Placement</i> "	143
3.4.9.Transferencia de piezas del PEFP al PEAU	148
3.4.10.Bolsa de curado	149
3.4.11.Ciclo de curado	156
3.4.12.Desmoldeo y taladrado de coordinación	151
3.4.13.Repaso de bordes	162
3.4.14.Verificación	163
3.4.15.Reparaciones	165
3.4.16.Envío a subcontratista	166
4.SITUACIÓN INICIAL	168
4.1.MAPEO DE LA CADENA DE VALOR (VALUE STREAM MAP)	169
4.1.1.Clientes	172
4.1.2.Procesos productivos	172
4.1.3.Puntos de stock	173
4.1.4.Entrada y salida de material	173
4.1.5.Relación entre procesos	173

4.1.6.Flujos de información	173
4.1.7.Líneas de tiempo	174
4.2.RECOGIDA DE DATOS DE PARADAS DE MÁQUINA	177
4.3.DIAGNÓSTICO GENERAL	183
4.3.1.Orden y limpieza	183
4.3.2.Gestión visual y flujos de información	184
4.3.3.Mantenimiento	185
4.3.4.Personal	186
5.PROPUUESTAS DE MEJORA	187
5.1.PROJECT CHARTER 1. MEJORA CONTINUA	187
5.1.1.PROPUUESTA DE MEJORA 1. Lanzamiento Plan Acciones	189
5.1.2.PROPUUESTA DE MEJORA 2. Formación	198
5.1.3.PROPUUESTA DE MEJORA 3. Definir "Project Charter"	200
5.1.4.PROPUUESTA DE MEJORA 4. Creación de círculos de calidad	201
5.2.PROJECT CHARTER 2. "HOUSE-KEEPING"	205
5.2.1.PROPUUESTA DE MEJORA 5. Implantación 5S's	206
5.2.2.PROPUUESTA DE MEJORA 6. Implantación Gestión Visual	230
5.3.PROJECT CHARTER 3. MEJORA DEL RENDIMIENTO EN F.P.	243
5.3.1.PROPUUESTA DE MEJORA 7. Control y análisis de paradas	244
5.3.2.PROPUUESTA DE MEJORA 8. Aplicación técnica SMED	258
5.3.3.PROPUUESTA DE MEJORA 9. Mantenimiento Autónomo	273
5.3.4.PROPUUESTA DE MEJORA 10. Autonomatización	281
6.CONCLUSIONES	283
6.1.LEAD TIME	283
6.2.TIEMPOS DE PARADA DE MÁQUINAS	285

7.ANEXOS	286
7.1.ANEXO I. VALUE STREAM MAPPING (VSM)	286
7.1.1.Información necesaria para elaborar el VSM	287
7.1.2.Términos necesarios para elaborar el VSM	287
7.1.3.Simbología estandarizada usada para elaborar el VSM	288
7.1.4.Pasos para elaborar el VSM	290
7.2.ANEXO II. PLANES DE ACCIÓN	294
7.3.ANEXO III. CONTENIDO PANELES DE INFORMACIÓN	299
7.4.ANEXO IV. DATOS DE PARADAS DE MÁQUINAS	310
7.4.1.Gráficos OEE	310
7.4.2.Diagramas de Pareto	313
8.PRESUPUESTO	316
8.1.PARTIDA I. Project Charter 1	317
8.2.PARTIDA II. Project Charter 2	318
8.3.PARTIDA III. Project Charter 3	320
9.GLOSARIO DE TÉRMINOS	322
10.BIBLIOGRAFÍA	327

1. OBJETO, JUSTIFICACIÓN, VIABILIDAD Y ALCANCE

1.1. OBJETO

El objetivo de este proyecto es proponer un plan de mejoras viable para el proceso de producción de una serie de piezas realizadas en el área de materiales compuestos de una empresa aeronáutica, concretamente en la zona de Fiber Placement. Para decidir que propuestas de mejoras son necesarias y como llevarlas a cabo, se utilizará la metodología conocida como "Lean Manufacturing".

Esta metodología tiene como objetivo la reducción de costes, la reducción de los desperdicios que tienen lugar en la producción y la mejora de los procesos. Para ello utiliza una serie de herramientas de gestión que buscan en todo momento la mejora continua del proceso. En definitiva el "Lean Manufacturing" está orientado a la máxima satisfacción del cliente, tomándolo como centro y referencia de todo el proceso.

La metodología "Lean Manufacturing" actúa sobre todo el proceso, no solo en la fabricación propiamente dicha, sino también sobre todo lo que afecta en ella (cumplimiento de normas, documentación...).

Actualmente, las empresas se encuentran en un mercado cada vez más exigente y cambiante. Por ello deben trabajar continuamente para mantener la calidad de sus productos y servicios siempre por encima de la de sus competidores.

La idea de que las cosas siempre pueden hacerse mejor de cómo se hacen es un importante impulso para la mejora, pero no basta. Es necesario que la metodología a seguir para conseguir dicho objetivo se tenga muy clara.

En el presente proyecto se seguirán distintas etapa que nos llevaran al fin pretendido:

1. **Análisis en profundidad de la situación inicial** para tener un punto de partida. Durante este diagnóstico se hará un seguimiento del proceso de producción de las piezas realizadas en la zona de "Fiber Placement", controlándose todas las etapas del mismo y todas las actividades relacionadas con él. Se estudiarán los tiempos de todas las operaciones y la forma de proceder en ellas. Mediante este análisis se detectarán los problemas y las partes del proceso susceptibles de mejora, es decir, se identificarán los puntos donde hay que centrar la atención de la posterior gestión.

2. Una vez que se sepa dónde hay que actuar, gracias a los resultados obtenidos en la etapa anterior, se procederá a la **aplicación de las herramientas de mejora mediante la gestión Lean**. Estas herramientas aplicadas correctamente conducirán a la consecución del objetivo buscado, es decir, a la situación deseada, en la cual el proceso se habrá mejorado.

3. Por último, habrá que **comprobar los beneficios obtenidos** mediante las mejoras aplicadas. Esta comprobación se hará, en la medida de lo posible, tanto cualitativamente como cuantitativamente (aquellas en las que proceda).

En definitiva, el proyecto pretende evaluar el paso de una "situación inicial" a otra "situación deseada" mediante la aplicación de una serie de herramientas de gestión (Lean Manufacturing).



Fig.1. Resumen proyecto

1.2. JUSTIFICACIÓN

Todos sabemos que el fin de cualquier empresa es conseguir los máximos beneficios con el mínimo coste. Para ello debe poseer una política empresarial que le permita rentabilizar al máximo sus procesos para alcanzar el éxito en el mercado actual.

Actualmente el mercado es exigente y cambiante. Hoy en día la oferta es superior a la demanda y además está diversificada (existen gran variedad de productos que satisfacen la misma necesidad). Es por esto que para mantenerse en este mercado las empresas deben responder con un proceso de producción que debe ser flexible y producir a bajo coste y alta calidad.

Todo esto obliga a las empresas a tener muy presente el concepto de "mejora continua" e implantarlo en todos los ámbitos de la organización para poder mantenerse en el mercado.

Es por todo esto que una empresa debe contar entre sus habilidades empresariales con el conocimiento de estrategias y herramientas de gestión que le permitan mejorar cualquier parte de su organización.

En este proyecto es el proceso productivo donde vamos a centrar la mayor parte del estudio, pero es importante no olvidar, que éste es solo una parte de la organización. Por esto, para conseguir una posición de liderazgo, la filosofía de la empresa, su estrategia de competitividad y la fabricación deben estar íntimamente conectadas.

Debido a todo lo expuesto, este proyecto pretende trabajar en la "mejora continua" actuando en la función de producción, para obtener los beneficios que conlleva la implantación de una serie de mejoras. En este caso esas mejoras se efectuaran enfocadas a la metodología "Lean Manufacturing".

Es indispensable, por tanto, un estudio exhaustivo del proceso de producción de las piezas de materiales compuestos realizadas mediante la tecnología "Fiber Placement". De este modo, se estará en consonancia con la política general de la empresa que no es más que rentabilizar los procesos al máximo y además se establecerá una cultura empresarial en la que todos los empleados se sientan parte del proyecto de mejora.

1.3. VIABILIDAD

Ya hemos hecho referencia anteriormente a que la función económica principal de cualquier empresa es la creación de valor (máximos beneficios al mínimo coste). Por tanto los factores de producción con los que cuenta la organización deberán usarse de forma eficiente y combinarse entre sí de la manera más adecuada. Esta combinación consiste en ordenar los factores de forma que la empresa pueda alcanzar sus objetivos, como son cubrir las necesidades que exige el mercado y obtener los máximos beneficios. Lo que se pretende por tanto es administrar y combinar los recursos que posee la empresa para crear un flujo de valor a lo largo del proceso y desechar todo aquello que no aporte valor (eliminación de desperdicios).

Debido a las características del mercado actual, en algunos momentos aparece la necesidad de mejorar internamente, debido a que no se está haciendo un uso eficiente de los recursos que los que se dispone, de manera que no siempre sus procesos están añadiendo valor a los productos que ofrece al mercado.

Además la fabricación de estructuras aeronáuticas de materiales compuestos está sufriendo una continua transformación. Por un lado, esta tecnología está continuamente mejorando y avanzando; y por otro lado, cada vez se producen más estructuras con esos materiales y se sustituyen antiguas piezas metálicas por piezas de materiales compuestos. Es por esto que el futuro de este campo es muy prometedor. Pero para mantener estas expectativas, las organizaciones dedicadas a la fabricación de piezas de materiales compuestos deben mejorar continuamente y buscar la mejor gestión de sus recursos.

Como veremos más adelante y con más detenimiento, el "Lean Manufacturing" (Producción Ajustada) busca la creación de valor por medio de la eliminación de actividades que no agregan valor al proceso y no mediante la inversión en costosos sistemas de alta tecnología. De este modo, el incremento

en la productividad y la rentabilidad se hace con los mismos equipos y personal que posee la empresa. Por tanto a través de esta filosofía puede llegarse a un cambio positivo e importante en la organización.

Estos cambios afectarán no solo al proceso productivo en sí, sino que también implicarán a la organización de forma que todas las personas que pertenecen a ella se sientan parte imprescindible de la empresa.

Para cualquier empresa, estos cambios son imprescindibles para adaptarse a las exigencias del mercado actual. Pero es necesario, para conseguir este cambio, tener claro que siempre se puede mejorar y que los procesos no son inalterables, sino que pueden evolucionar, pueden ser estudiados y revisados de forma que mejoren continuamente.

Podemos decir, entonces, que la viabilidad del presente proyecto queda justificada por lo cambios mencionados anteriormente, que llevarán a un aumento de productividad debido a la reducción de costes y a la implicación del personal en la mejora continua, a la que se llegará mediante la aplicación de la filosofía "Lean".

1.4. ALCANCE

Este proyecto se enmarca dentro de la política de mejora continua de una empresa de construcciones aeronáuticas, concretamente en el área de "Fiber Placement" de su departamento de materiales compuestos.

El proyecto abarca la detección de las oportunidades de mejora y en él se mostrará una descripción detallada de la situación previa y posterior de todos los problemas detectados antes y después de la aplicación de las propuestas de mejora.

2. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

Este proyecto se enfoca en el sector aeronáutico andaluz, concretamente en el campo de los materiales compuestos. Como ya hemos dicho anteriormente, actualmente en este sector existe un continuo aumento de la carga de trabajo en el área de los materiales compuestos y además existe una gran tendencia a la sustitución de antiguas estructuras metálicas por nuevas estructuras fabricadas con estos materiales.

El proyecto se localiza en una planta aeronáutica del Tecno Parque Bahía de Cádiz o Centro Bahía de Cádiz (CBC), en el Puerto de Santa María (Carretera El Puerto de Santa María- Sanlúcar de B., Km 7,5).



Fig. 2. Tecno Parque Bahía de Cádiz



Fig. 3. Localización Tecno Parque Bahía de Cádiz

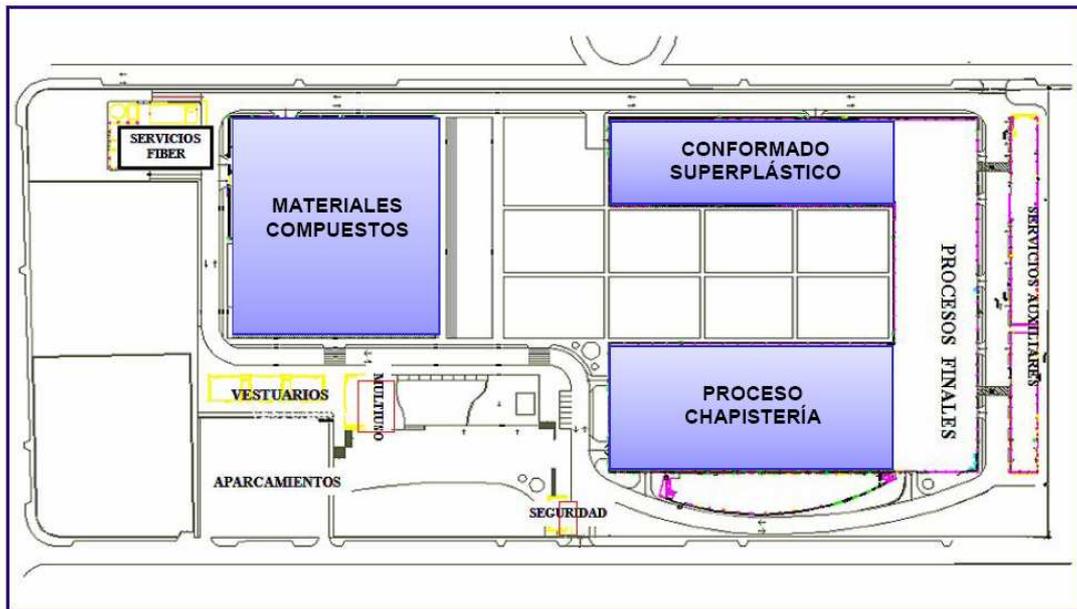


Fig. 4. Distribución Planta Aeronáutica

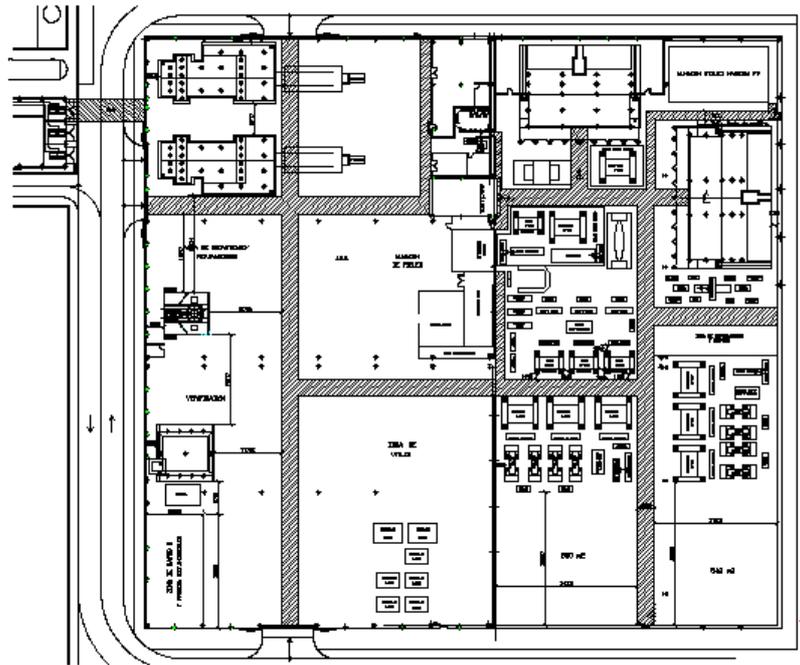


Fig. 5. Distribución Área Materiales Compuestos

La empresa objeto de este proyecto engloba tres tecnologías de producción de componentes aeronáuticos:

- **Chapistería.**

Consiste en la fabricación de piezas de diversas configuraciones y tamaños a partir de chapas (aleaciones de aluminio, titanio y acero). Se realiza a través del conformado en prensas y en plegadoras, finalizando el proceso con tratamientos superficiales y pintura.

- **Conformado superplástico.**

Se usa en la fabricación de piezas con configuraciones complejas. Algunas aleaciones de titanio (entre otras) pueden tener grandes elongaciones sin romperse a altas presiones y temperaturas, es decir tienen características de superplasticidad. Se aprovechan estas características de forma que, junto con la soldadura por difusión, es posible conformar piezas complejas, que mediante la chapistería convencional, no se podrían obtener.

- **Materiales compuestos.**

Dentro de esta área, se fabrican distintas estructuras de materiales compuestos mediante dos técnicas, el laminado manual y el laminado automático.

Ambas técnicas pertenecen al mismo proceso de fabricación, el "moldeo por curado en autoclave". Consiste en situar, apiladas, varias capas de material preimpregnado en el útil, realizándose una bolsa de vacío y posteriormente, introduciendo todo el montaje en un autoclave donde se produce la polimerización a determinada presión y temperatura.

En el laminado manual el posicionamiento de la fibra preimpregnada (en forma de telas) se hace manualmente. Por otro lado, el laminado automático o "Fiber Placement", automatiza el posicionamiento de la fibra, también preimpregnada (que está en este caso en forma de mechas) mediante una máquina que puede colocar a la vez hasta 32 mechas.

Como ejemplo de algunas de las piezas que se fabrican en el área de materiales compuestos tenemos las siguientes:



Fig. 6. Capó para motor del A380-TRENT900



Fig. 7. Carena para A400M

El presente proyecto se centra, dentro del área de materiales compuestos, en el laminado automático mediante la tecnología "Fiber Placement", donde se realizan piezas de gran tamaño. En el área de laminado manual ya se implantó la metodología Lean en años anteriores. Debido al buen resultado de esta implantación y a las numerosas paradas a las que está sujeta el área de Fiber Placement, se vio que esta era un área con un gran potencial de mejora.

A lo largo del proyecto se profundizará más en el proceso de producción mediante el laminado automático.

3. ANTECEDENTES

3.1. MATERIALES COMPUESTOS

3.1.1. Introducción

Se define un material compuesto ("*Composite*") como la combinación de dos o más materiales diferentes en forma o composición a escala macroscópica. Los constituyentes retienen sus identidades, es decir, no se disuelven ni se funden completamente en uno de ellos, aunque actúan en conjunto. Normalmente, los componentes pueden ser físicamente identificados y exhiben una intercara de separación entre ellos.

La idea de un material compuesto no es nueva, ni siquiera reciente en el tiempo. La naturaleza está llena de ejemplos donde aparecen los principios de los materiales compuestos. La madera es un material compuesto reforzado con fibras de celulosa, que poseen una gran resistencia mecánica, una gran flexibilidad y baja rigidez, en una matriz que las une y les confiere rigidez.

Además de los materiales compuestos de origen natural, existen muchos otros materiales artificiales que utilizan los fundamentos de la combinación de varios materiales para conseguir propiedades determinadas. Un ejemplo de esto es el adobe (fibras vegetales en una matriz arcillosa), usado desde la época de los egipcios.

Por tanto, la idea general de material compuesto no es novedosa. Sin embargo, en el contexto de ingeniería de materiales, y en el del presente proyecto, el origen del estudio de los materiales compuestos de altas prestaciones y de su desarrollo es relativamente cercano.

Si partimos de una concepción demasiado amplia, como la que podría ser la que considera material compuesto a una mezcla de dos o más

constituyentes o fases distintas, prácticamente cualquier material utilizado por el hombre podría considerarse como un material compuesto.

Por este motivo, es necesario limitar el concepto de material compuesto atendiendo a su estructura, fabricación y comportamiento, a aquel que cumple las siguientes condiciones:

- a.** Está fabricado de forma artificial (lo que excluye de la definición a materiales naturales como la madera).
- b.** Está formado por dos o más fases químicamente diferentes, dispuestas de forma adecuada y separadas por una intercara definida.
- c.** Sus propiedades no pueden ser alcanzadas por ninguno de sus constituyentes de forma aislada.

Los motivos que originan el desarrollo inicial de este nuevo tipo de materiales se encuentran en la creciente demanda que existía, en la década de los 60, de materiales cada vez más rígidos, resistentes y ligeros por parte de industrias como la aeronáutica y aeroespacial, la energética, la construcción civil...

Estas prestaciones exigidas al comportamiento de los materiales son cada vez más extremas y variadas, por lo que ningún material convencional era capaz de satisfacerlas a la vez. Este hecho fue el que motivó el resurgimiento de este principio de "acción combinada" para optimizar el comportamiento de materiales mediante el empleo de refuerzos, creando un material compuesto integral.

Estos sistemas de materiales compuestos dan lugar a un comportamiento que no es alcanzable por sus constituyentes individuales, ofreciendo por tanto, como gran ventaja, una importante flexibilidad en el

diseño. Esto significa la posibilidad, en un principio, de diseñar y fabricar el material según las especificaciones concretas exigidas.

En la actualidad, no hay que olvidar que el desarrollo de nuestra sociedad sigue marcado por la necesidad de reducir el consumo de energía, y la industria es cada vez más exigente con las prestaciones que demanda para sus materiales. Es por esto que la mayoría de materiales compuestos se han creado para mejorar propiedades como la resistencia, la tenacidad y la rigidez.

Las importantes posibilidades de mejora que pueden obtenerse, sobre los materiales convencionales justifica el importante esfuerzo de investigación y desarrollo que aun hoy en día se está realizando en el campo de los materiales compuestos.

3.1.2. Composición

Generalmente, los materiales compuestos constan de una **fase continua** o matriz y de una **fase discontinua** o refuerzo, que presentan diferente composición y morfología según la funcionalidad o propiedades que se pretenden conseguir.

A. FASE DISCONTINUA. Refuerzo.

Está inmersa en la matriz y proporciona la resistencia y rigidez al material ya que soporta la mayor parte de la fuerza aplicada.

B. FASE CONTINUA. Matriz.

Proporciona la cohesión a la fase discontinua y se encarga de transmitir las cargas aplicadas al material compuesto. Protegen al refuerzo del daño mecánico y de agentes externos.

Las propiedades de los materiales compuestos dependerán de las propiedades de cada fase, de las cantidades relativas de las mismas y de la geometría de la fase discontinua (tamaño, forma, orientación...)

3.1.3. Clasificación

A. Atendiendo a las propiedades de la fase discontinua. REFUERZO

- **Reforzados con partículas.** Están compuestos por partículas de un material duro y frágil dispersas discreta y uniformemente, rodeadas por una matriz más blanda y dúctil.

Las partículas que forman la fase dispersa son equiaxiales, es decir, tienen dimensiones aproximadas en todas las direcciones

- **Reforzados con fibras.** El refuerzo tiene la geometría de una fibra. Dan lugar a materiales compuestos de gran resistencia a la fatiga, rigidez y relación resistencia-peso, al incorporar fibras fuertes, rígidas y frágiles dentro de una matriz más blanda y dúctil.

Las fibras más habituales son las de carbono (aplicaciones estructurales), vidrio (bordes de ataque, carenas) y aramida o kevlar (aplicaciones de resistencia al impacto).

- **Laminares.** Son materiales compuestos combinados con materiales homogéneos. Los compuestos laminares incluyen laminados, recubrimientos más gruesos, metales de revestimiento y muchos otros.

Son diseñados para mejorar la resistencia a la corrosión y al desgaste. Hablaremos un poco más adelante de este grupo por ser el más referenciado en el proyecto y el más importante en el sector aeronáutico.

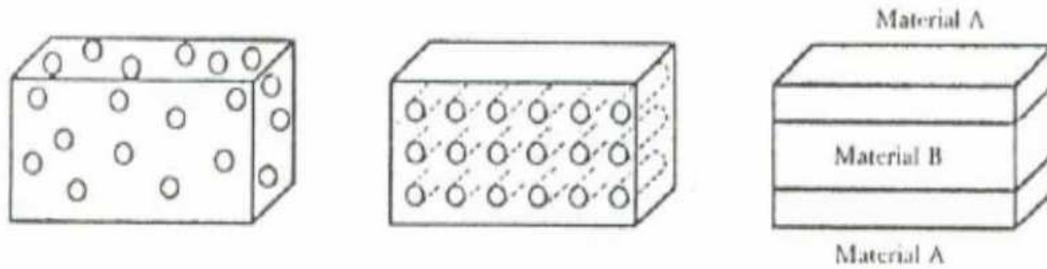


Fig. 8. Tipos de materiales compuestos según su fase discontinua

B. Atendiendo a las propiedades de la fase continua. MATRIZ

Podemos hablar de dos grandes familias de matrices poliméricas completamente diferentes por su naturaleza y procesado:

- **Resinas termoestables.** Se presentan sin polimerizar, polimerizando durante el proceso de fabricación de la pieza final, formando una red tridimensional.

Se descomponen al fundir, por lo que no pueden ser reprocesadas.

Dentro de esta familia las más utilizadas son las resinas epoxídicas y fenólicas.

- **Resinas termoplásticas.** Se conforman con calor y presión, y al fundirse no se descomponen.

En la actualidad se está desarrollando un esfuerzo considerable para intentar sustituir las anteriores por matrices de este tipo. Esto se debe a las grandes ventajas que presentan frente a las termoestables.

Las principales ventajas que presentan estas resinas son su reprocesabilidad, su tiempo de vida ilimitado, la posibilidad de almacenarlas a temperatura ambiente...

3.1.4. Preimpregnados ("Prepregs")

El material "prepreg" es el más extendido para aplicaciones estructurales. Este término se usa para referirse a un tipo de material compuesto formado por la combinación de una matriz (resina termoestable parcialmente curada) que impregna al refuerzo (la fibra).

La resina está en un estado de fácil manejo y pegajosidad para su moldeo y posterior curado. Está listo para usar en el proceso de fabricación del componente, ya que se entrega a los usuarios en forma de rollo, los cuales moldean y curan sin necesidad de añadir ninguna resina.

Dos de las características principales de los materiales preimpregnados termoestables son que requieren un almacenaje a temperaturas bajas ($-20\text{ }^{\circ}\text{C}$) ya que pueden curar a temperatura ambiente y que tienen tiempo de vida limitado.

En la siguiente imagen se observan los distintos "Tiempos de Vida" característicos de un "prepreg" que quedan definidos posteriormente.

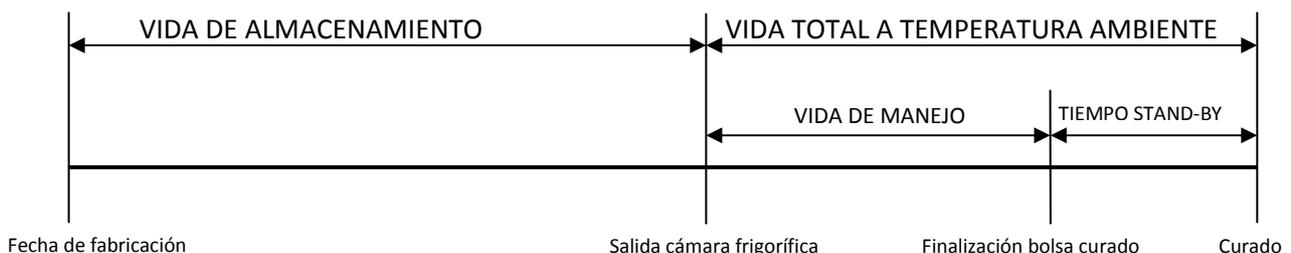


Fig.9. Tiempos de vida característicos de los preimpregnados.

- **Tiempo de vida de manejo.** Tiempo que el material puede estar expuesto a temperatura ambiente, hasta acabar el apilado (es decir, hasta finalizar la bolsa de vacío).

- **Tiempo de vida total a temperatura ambiente.** Tiempo que puede el material estar expuesto a temperatura ambiente, antes de comenzar el ciclo de curado.
- **Tiempo de almacenaje máximo.** Tiempo máximo que puede el material estar almacenado a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, desde la recepción del mismo hasta su utilización.

Los materiales preimpregnados presentan varias ventajas frente a otro tipo de materiales compuestos:

- Impregnación uniforme y homogénea
- Simplifica el inventario de materia prima a un solo producto
- Facilita la producción
- Disminuye el material desperdiciado
- Favorece la automatización de la producción
- Posibilita operaciones de corte y formación de kits
- Relación refuerzo / matriz constante

3.1.5. Tipos de materiales preimpregnados

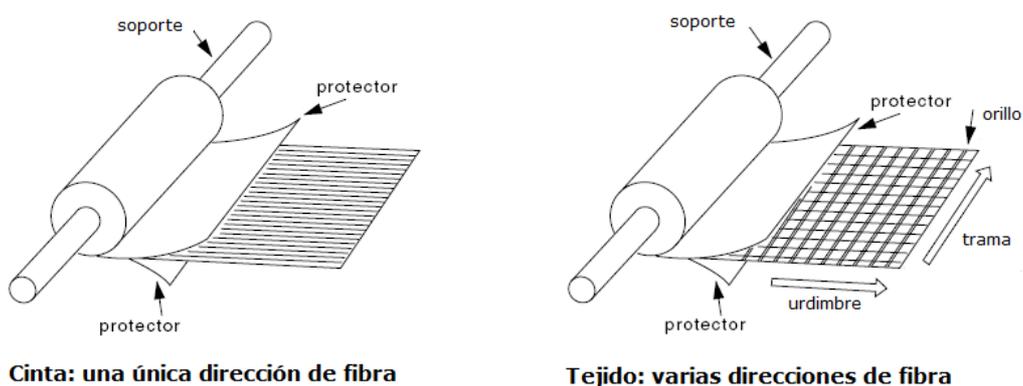


Fig. 10. Tipos de preimpregnados.

A. Cintas unidireccionales.

Consisten en una serie de hebras de fibras continuas, orientadas en una sola dirección.

En los materiales preimpregnados formados por cintas unidireccionales, las propiedades mecánicas son función, principalmente, de la dirección de la fibra, obteniéndose propiedades muy altas en la dirección de ella.

Debido a la rigidez de la fibra son difíciles de trabajar/manejar en estructuras con formas geométricas complicadas.

B. Tejidos.

Los tejidos resultan de entrelazar los hilos en dos direcciones perpendiculares (trama y urdimbre).

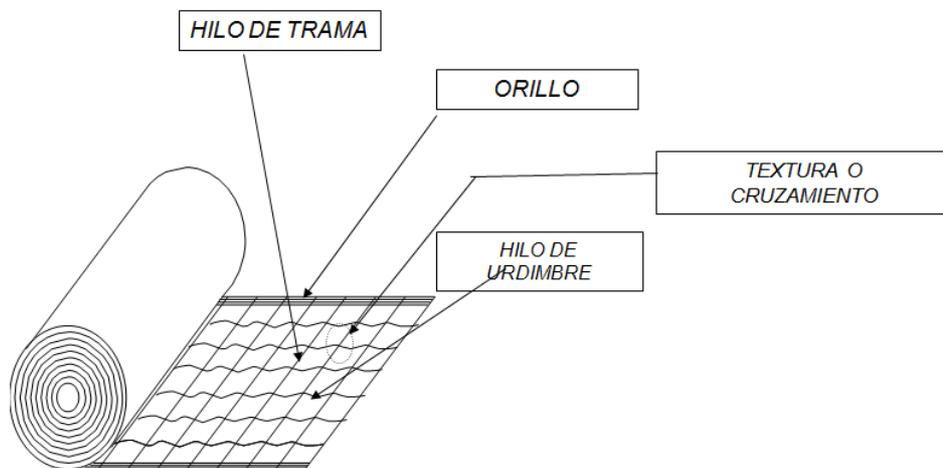


Fig. 11. Esquema del tejido

En los tejidos preimpregnados las propiedades mecánicas vienen dirigidas principalmente por las direcciones de trama (hilos que corren perpendicularmente al orillo) y urdimbre (hilos que van paralelos al orillo).

De forma general tienen propiedades mecánicas más bajas que las cintas (en la dirección de la fibra), pero son más fáciles de manejar y de trabajar sobre todo en estructuras complejas con curvaturas complicadas.

3.1.6. Características y clasificación de los preimpregnados

Las características básicas que definen a un material preimpregnado son:

A. Tipo de fibra.

Las más usadas son la de vidrio, carbono y aramida (kevlar). Estas fibras proporcionan al material las propiedades adecuadas, ya que son refuerzos de alta resistencia y rigidez, y baja densidad.

En la tabla siguiente vemos las propiedades de cada uno de estos tipos de fibra.

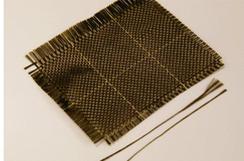
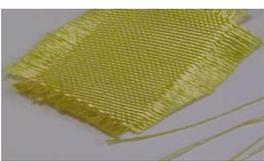
PROPIEDADES DE LAS FIBRAS	 VIDRIO	 CARBONO	 ARAMIDA
PRECIO	Medio	Muy alto	Alto
RESISTENCIA	Media	Alta	Muy alta
RIGIDEZ	Baja	Alta	Media
DENSIDAD	Similar a la del aluminio	Menor que la del aluminio	Mucho menor que la del aluminio
APLICACIONES	Estructuras Secundarias	Cualquier tipo de estructura	Estructuras de alta resistencia al impacto

Tabla 1. Propiedades de las distintas fibras para preimpregnados

B. Tipo de textura (sólo en el caso de los tejidos).

Cuando se habla de textura se hace referencia a la forma de entrecruzarse las fibras en el tejido. Es por esto que esta clasificación no aplica en el caso de las cintas, ya que no hay entrecruzamiento de fibras por ir todas en la misma dirección.



Fig. 12. Texturas de tejidos preimpregnados

A mayor cruzamiento obtendremos mejores propiedades mecánicas, y a menor entrecruzado el comportamiento frente al apilado será mejor.

C. Tipo de resina.

Las resinas más usadas como matriz en este tipo de materiales son la resina epoxi, la fenólica y la poliimida.

En la tabla vemos las ventajas de cada una de ellas y sus aplicaciones:

RESINA	VENTAJAS	APLICACIONES
EPOXI	<ul style="list-style-type: none">- Excelentes propiedades mecánicas.- Buena resistencia medioambiental.- Fácil procesado.	<ul style="list-style-type: none">- Aeroespacial.- Militar.
FENOLICA	<ul style="list-style-type: none">- Excelente resistencia al fuego.- Baja emisión de gases tóxicos.- Procesado económico.	<ul style="list-style-type: none">- Aeroespacial (componentes internos).- Naval.- Ferrocarril.
POLIIMIDA	<ul style="list-style-type: none">- Excelente resistencia a altas temperaturas.- Buenas propiedades mecánicas.- Buena resistencia a agentes químicos.	<ul style="list-style-type: none">- Aeroespacial (estructuras primarias).- Componentes de resistencia a altas temperaturas.

Tabla 2. Resinas preimpregnados.

3.1.7. Materiales compuestos estructurales

Son el grupo más importante en el sector industrial y en concreto en el aeronáutico. Como ya hemos dicho, está formado por una combinación de materiales compuestos y materiales homogéneos. Sus propiedades dependen tanto de los materiales que lo conforman como de la geometría del diseño del elemento.

Los compuestos laminares y los paneles sándwich son los materiales estructurales más comunes.

3.1.7.1. Materiales compuestos laminares

Constan de láminas de preimpregnados (las llamadas "telas" en el sector aeronáutico) que se apilan y se pegan entre sí. La orientación de la dirección de elevada resistencia cambia en cada capa. Por esto se obtiene un material laminar resistente en varias direcciones.

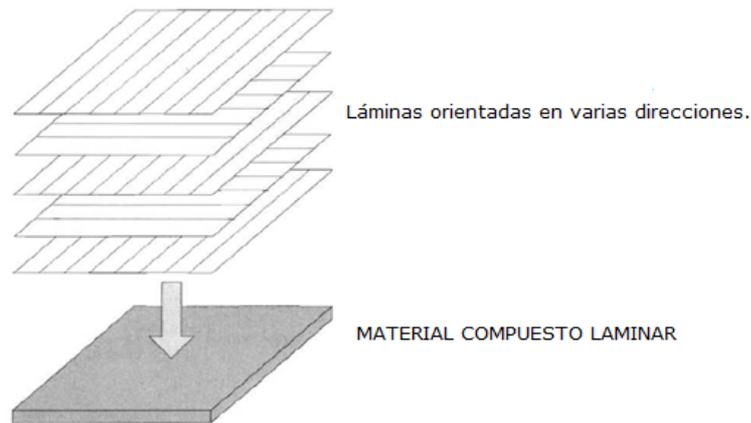


Fig. 13. Estructura material laminar.

3.1.7.2. Paneles Sándwich

Consisten en dos láminas externas fuertes (caras) separadas por un material menos denso (núcleo). Ni las caras ni el núcleo poseen rigidez y resistencia por sí mismas, pero el compuesto tiene ambas propiedades.

Las caras resisten la mayor parte de las cargas. El núcleo separa las caras y resiste la deformación perpendicular al plano de la cara.

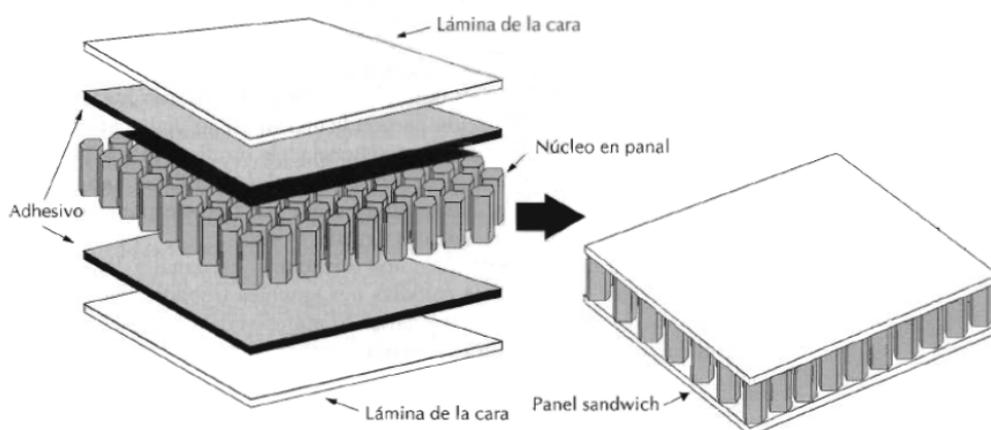


Fig. 14. Estructura panel sándwich.

Los núcleos están constituidos por láminas muy delgadas, metálicas o no metálicas impregnadas en resinas y formando estructuras celulares.

Las láminas pueden estar unidas mediante soldadura (metálicas) o mediante materiales adhesivos (las no metálicas).

Existen distintos tipos de núcleos en función del tipo de celdilla, pero el más usado es el que vemos en la imagen, el llamado "en panal", cuyas celdillas son hexagonales y sus ejes son perpendiculares a los planos de las caras.



Fig. 15. Ejemplo de núcleo "Honeycomb"

Estas estructuras permiten un gran ahorro de peso, de tiempo y de coste de fabricación. Se utilizan en zonas que no requieran grandes solicitaciones mecánicas (puertas, trampas, superficies de control). No requieren almacenajes especiales (lugares frescos y limpios y colocados en posición horizontal).

3.1.8. Ventajas e inconvenientes del uso de materiales compuestos

Las ventajas de los materiales compuestos residen fundamentalmente en sus propiedades:

- Alta resistencia.
- Baja densidad.

- Posibilidad de fabricar piezas complejas, lo que facilita y mejora el diseño.
- Economía de fabricación. Muchas partes metálicas se pueden reemplazar por una parte de material compuesto.
- No conducen la electricidad.
- Gran resistencia a la fatiga.
- Buenos amortiguadores de vibraciones.
- Ausencia de corrosión ya que los composites no se oxidan.
- Los materiales compuestos tienen un alto módulo elástico.

En cuanto a los inconvenientes de los materiales compuestos tenemos los siguientes:

- Alto precio de las materias primas.
- Procesos muy manuales.
- Altos requerimientos de calidad.
- Alto número de rechazos.
- Fabricación unitaria.
- Condiciones muy especiales y estrictas en su manipulación.

3.2. METODOLOGÍA "LEAN MANUFACTURING"

3.2.1. Historia

La metodología "Lean Manufacturing" se basa en el sistema de fabricación de Toyota ("Toyota Production System" o TPS).

El TPS, desarrollado en los años 30 por los directivos de Toyota, Kiichiro Toyoda y Taiichi Ohno, entre otros, es un sistema integral de producción y gestión que se basa en la optimización de los procesos productivos mediante la eliminación de despilfarros y el análisis de la cadena de valor, para conseguir un flujo de material estable, en la cantidad adecuada, en el momento necesario y con la calidad asegurada. Es decir, ser flexible para **fabricar lo que el cliente quiere y en el momento en que lo pide.**

Este sistema llevó a Toyota a ser una empresa de gran eficiencia y competitividad. Por ello, en los años 80 y 90, este sistema fue popularizado en América y muchas organizaciones decidieron transformar su sistema de producción, lo que les llevó a ser mucho más eficientes. Actualmente es un sistema seguido por muchas empresas y conocido en todo el mundo.

1885	1913	1955-1990	1993-...
Producción artesanal	Producción en masa	Toyota Production System - TPS	Lean Enterprise
Bajo nivel de automatización Alta personalización de los productos	Componentes modulares Líneas de producción con ritmo Ingeniería de producción "A los operarios no les gusta pensar"	El operario resuelve los problemas Operario como dueño del proceso por medio de: - Formación - Calidad en proceso - Mínimo inventario - Just-in-time Eliminar desperdicio Respuesta a cambios	"Lean" aplicado a todas las funciones de la empresa Optimización del valor para todos los agentes implicados
Alto nivel de cualificación operarios Producción unitaria Alto coste por producto	Bajo nivel de cualificación operarios Producción de muchas unidades por producto Bajo coste (Escala) Problemas de calidad persistentes Modelos inflexibles	Bajo coste Cultura de la mejora continua Alta calidad de los productos Modelos flexibles	Bajo coste Cultura de la mejora continua Alta calidad de los productos Modelos flexibles Mas valor para todos los agentes implicados

Fig. 16. Evolución Lean Manufacturing

3.2.2. Definición

Según Boeing el Lean Manufacturing es un conjunto de principios, conceptos y técnicas diseñadas para eliminar el desperdicio y establecer un sistema de producción eficiente, justo a tiempo que permita realizar entregas a los clientes de los productos requeridos, cuando son requeridos, en la cantidad requerida, en la secuencia requerida y sin defectos.

Aplicar las prácticas lean es una forma de reducir costes, mejorar los resultados y crear valor para la empresa.

Lean es básicamente todo lo que concierne a obtener las cosas correctas en el lugar correcto, en el momento correcto, en la cantidad correcta, minimizando el despilfarro, siendo flexible y estando abierto al cambio.

3.2.3. Objetivos principales

El principal objetivo de la filosofía Lean es implantar la Mejora Continua. La empresa conseguirá con la implantación de esta metodología:

- Reducir costes.
- Mejorar los procesos.
- Reducir el tiempo de reacción.
- Mejorar el servicio al cliente.
- Aumentar la calidad.
- Disminuir el tiempo de entrega.
- Eliminar el desperdicio.
- Incrementar la productividad y la rentabilidad de la empresa.

Los objetivos principales del Lean Manufacturing son:

A. SATISFACER AL CLIENTE.

Su objetivo principal es **satisfacer al cliente**, sin hacer distinciones entre clientes internos y externos. Para ello es imprescindible saber qué es lo que aporta "valor" para éste.



Fig. 17. Producción centrada en el cliente

B. ELIMINAR DESPERDICIOS.

Todo aquello que no aporta valor al producto es "**desperdicio**". Más adelante veremos detenidamente los 7 desperdicios que se identifican en Lean Manufacturing. Para aportar valor al producto hay que identificar todos los despilfarros, sus causas y eliminarlos.

C. HACER MÁS CON MENOS.

Finalmente, se busca incrementar el valor del producto minimizando los recursos necesarios para ello y el tiempo de fabricación total ("*lead time*"). En definitiva, reducir el coste total de producción.

3.2.4. Los siete desperdicios

La base fundamental del Lean Manufacturing es crear un proceso sin ninguna actividad innecesaria que el cliente no valore, es decir actividades "sin valor añadido".

Podemos decir que se distinguen en los procesos productivos tres tipos de actividades:

- **Actividades con valor añadido.**

Actividades que convierten o transforman los materiales o la información, de manera que se genere un producto o servicio acorde a las necesidades de los usuarios. Son las actividades por las que el cliente está dispuesto a pagar.

- **Actividades sin valor añadido.**

Actividades necesarias para que el sistema o proceso genere el producto o servicio requerido por el cliente pero que no generan valor. Estas actividades son inevitables debido a los medios o tecnologías existentes.

- **Despilfarros o desperdicios.**

Son actividades, procesos, tiempos, espacios, materiales, etc., que no aumentan el valor del producto o servicio y que además no son necesarias para el sistema o proceso.

Se distinguen, por tanto, dos tipos de actividades sin valor añadido. Unas se catalogan como despilfarros y otras no.

Las actividades sin valor añadido no generan valor pero son necesarias para el proceso o sistema, por lo que no pueden eliminarse. Un ejemplo de ellas serían los test de calidad de los productos.

Sin embargo, los despilfarros pueden y deben eliminarse y evitarse. Esto es lo que busca la filosofía Lean.

En Lean Manufacturing se definen 7 grandes desperdicios a eliminar. De una manera general los despilfarros se pueden clasificar en 7 tipos principales:

- Sobreproducción
- Esperas
- Transportes
- Sobreprocesamiento
- Inventario
- Movimientos
- Defectos

DESPERDICIO	FORMA DE ELIMINARLOS
Sobreproducción	Reducir los tiempos de preparación, sincronizando cantidades y tiempos entre procesos, haciendo sólo lo necesario.
Espera	<ul style="list-style-type: none">- Sincronizar flujos- Balancear cargas de trabajo- Trabajador flexible
Transporte	<ul style="list-style-type: none">- Distribuir las localizaciones para hacer innecesario el manejo / transporte- Racionalizar aquellos que no se pueden eliminar
Proceso	Analizar si todas las operaciones deben de realizarse o pueden eliminarse algunas sin afectar la calidad el producto / servicio
Inventarios	Acortar los tiempos de preparación, de respuesta y sincronizarlos
Movimiento	Estudiar los movimientos para buscar economía y conciencia. Primero mejorar y luego automatizar
Productos defectuosos	Desarrollar el proyecto para prevenir defectos, en cada proceso ni hacer ni aceptar defectos

Tabla 3. Tipos de desperdicios y formas de eliminarlos.

Es importante saber identificarlos de forma que su eliminación, mediante la aplicación de distintas herramientas (que veremos más adelante), sea eficaz y rápida.

Veamos detenidamente los distintos desperdicios:

1. Sobreproducción: Producción de productos antes de que sean requeridos.

Origina un mal flujo de información y productos e inventarios. Puede estar causada por:

- Tareas finalizadas antes de que sean requeridas en el siguiente proceso.
- Fabricación anticipada para cubrir posibles ineficiencias como averías.
- Fabricación en lotes para optimizar cambios.

Las leyes de la sobreproducción son las siguientes:

- Producir todo lo que se pueda sin mirar a la capacidad del siguiente proceso (provoca que se acumulen existencias equivalentes a 2 ó 3 días de producción).
 - Asignar a los puestos materiales de sobra para que no paren.
 - Fijar un porcentaje de sobreproducción para cubrirse de posibles cambios o problemas.
- Invertir en máquinas de velocidades muy superiores a lo necesario.

El sistema de producción no podrá enfrentarse rápidamente a cambios en las exigencias del cliente, por lo que hay que evitar totalmente la sobreproducción.

2. Tiempos de espera: Tiempos generados por los recursos sin utilizar esperando a poder realizar una actividad.

Disminuye la productividad y aumenta el "*lead time*". Se deben, entre otras cosas a:

- Espera por averías o preparaciones de equipos.
- Espera por falta de materiales.
- Espera a ciclos automáticos.
- Espera a información (debido, por ejemplo a modificaciones).
- Espera a medios de manipulación (como el puente grúa).

3. Transporte y almacenaje: Tiempo invertido en transportar y almacenar piezas entre operaciones.

Aumenta el coste y el "*lead time*". Este desperdicio puede deberse a:

- Transporte de materiales entre "islas aisladas". Debido a esto, se acumula el material entre cada operación creando stock en curso y alargando el "*lead time*".

- Operaciones de almacenaje.
- Movimiento de información en papel.

4. Sobreprocesamiento: Aplicación de medios o recursos por encima de lo necesario para llevar a cabo un proceso. Es decir, son procesos ineficientes que originan la necesidad de realizar tareas sin valor añadido.

Repercute en una menor productividad.

Pueden producirse por:

- Generar más información de la necesaria.
- Ajustes de los procesos por encima de lo requerido.

- Tareas duplicadas (inspecciones).
- Embalajes que se desembalan en procesos posteriores.
- Uso de herramientas inadecuadas.
- Secuencia inadecuada de operaciones de montaje.

5. Inventarios: Acumulación de materia prima, producto en curso o producto terminado.

Repercute en un mayor coste y un mal servicio al cliente. Se debe a que hay un stock mayor al mínimo requerido.

El inventario da lugar a una serie de tareas que no aportan valor como por ejemplo transporte, almacenaje, clasificación, búsqueda, contabilidad, trazabilidad...

Aunque a veces es necesario, debemos deshacernos de él ya que nos engaña ocultando los problemas que existen, de forma que no podremos corregirlos.

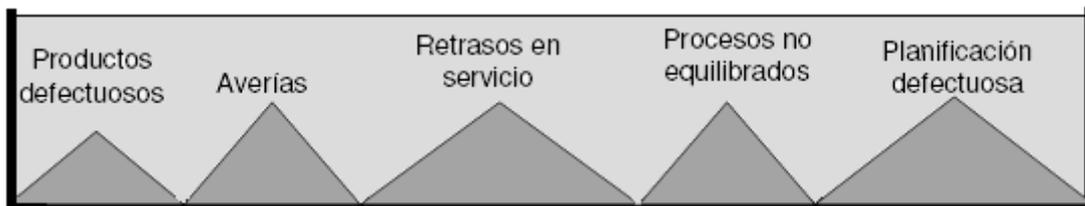


Fig. 18. Un gran inventario oculta problemas existentes



Fig. 19. Al disminuir el inventario se identifican los problemas existentes

Junto con la sobreproducción, suponen los desperdicios más peligrosos ya que reflejan la incapacidad de la organización para adaptarse al mercado.

6. Movimientos: Cualquier movimiento que no es necesario para completar una operación de valor añadido.

Repercute en una menor productividad. Al hablar de movimientos nos referimos, entre otros a:

- Desplazamientos y búsqueda de herramientas.
- Movimientos de alcanzar, agacharse, inclinarse, girarse...
- Doble manipulación de piezas o componentes.
- Desplazamientos a PC, impresora...

7. Defectos: Utilizar, generar o suministrar productos que no cumplan las especificaciones.

Repercute en un mayor coste, retrasos, mala calidad y un mayor "lead time".

Requiere de operaciones como la inspección y el reproceso. Para evitar estos defectos se propone la automatización de los equipos, de forma que éstos puedan detectar los defectos y tengan capacidad de parada y aviso.

Para la filosofía Lean, eliminar estos desperdicios suponen una reducción del coste total de producción y del ciclo de fabricación (o "lead time").

3.2.5. Principios Lean

1. VALOR: Aquello por lo que el cliente final está dispuesto a pagar.

Lo primero que hay que conocer es qué aporta valor a un determinado producto o servicio. El valor de un producto lo establece el cliente final y lo crea el fabricante o suministrador, adaptándose a las necesidades del cliente.

Podemos definir valor como "**todo aquello que hace que se cumplan las funcionalidades esperadas por el cliente, con un nivel de calidad esperado, a un coste esperado y en un plazo de tiempo esperado**".

2. CADENA DE VALOR: Pasos a seguir para crear valor.

La cadena de valor es el conjunto de acciones (con y sin aporte de valor) necesarias para obtener un determinado producto o servicio. Llegaremos a obtener ese producto a través de las tareas de gestión principales:

- **Tarea de resolución de problemas:** Desde el diseño hasta el lanzamiento del producto.

- **Tarea de gestión de la información:** Desde la recepción de pedidos hasta la planificación de la expedición.

- **Tarea de transformación física:** La transformación desde materias primas hasta producto terminado.

Para ello se utiliza la herramienta llamada "**Value Stream Mapping**" (VSM), que no es más que una descripción gráfica de la cadena de valor que utiliza símbolos estandarizados para establecer un lenguaje común en el análisis de procesos.

El mapa del Flujo de Valor (VSM) permite visualizar sobre el papel la secuencia de actividades necesarias para la transformación del producto y facilita la identificación del despilfarro que existe en el proceso y sus causas. Esta herramienta es la base para establecer un plan de acciones de mejora.

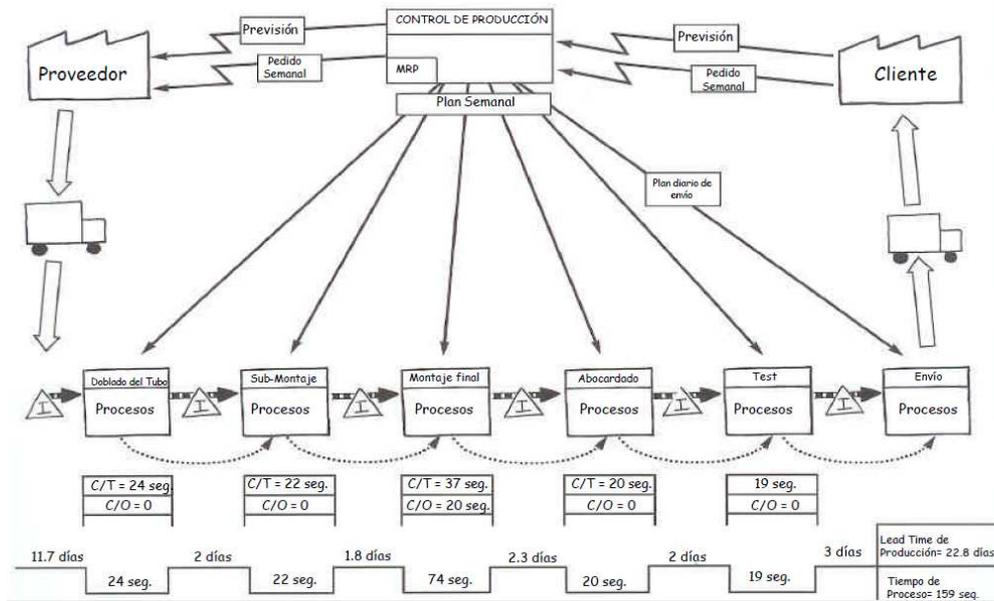


Fig. 20. Ejemplo de VSM

3. FLUJO CONTINUO: Pasos para crear calor en flujo continuo.

Se entiende por flujo continuo la fabricación de piezas una a una, pasando cada una de ellas inmediatamente al proceso siguiente sin interrupciones. Buscamos crear flujo continuo con las actividades que forman la cadena de valor de forma que la pieza no quede inmovilizada como inventario.

Para conseguir este flujo continuo es necesario fabricar al ritmo de la demanda ("takt time").

El "**Takt Time**" se define como el tiempo en el que necesitan los clientes el producto.

El "**Takt time**" de un proceso, que fabrique productos de uno en uno, a ritmo constante durante el tiempo disponible, es el tiempo que transcurre entre la fabricación de dos productos consecutivos para poder coincidir con la demanda.

Da una idea de la velocidad ideal de producción para no tener sobreproducción.

Por otro lado, es necesario, siempre que se pueda, establecer flujos pieza a pieza ("One piece flow" o OPF) entre procesos, de manera que no existan interrupciones del flujo.

El flujo pieza a pieza (OPF) elimina tiempos sin valor añadido y reduce la necesidad de espacio ya que disminuye el stock.

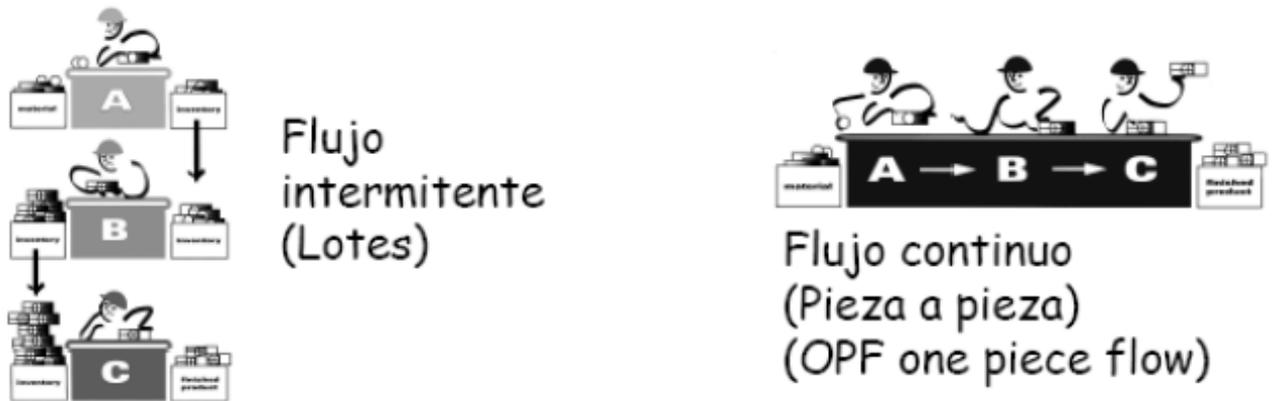


Fig. 21. Flujo por lotes frente al Flujo continuo

4. SISTEMA DE FABRICACIÓN PULL: Producir contra la demanda.

Producir lo que se ha vendido. Los sistemas Lean buscan ajustar su producción a un sistema "pull".

Hay 3 maneras de producir:

- **Contra pedido.**

El producto no se fabrica hasta que los clientes han realizado un pedido.

La planificación se hace tras recibir las órdenes. Para que esto sea posible, es imprescindible que:

- El "Lead Time" del proceso sea inferior al plazo de entrega comprometido con los clientes.

- La capacidad productiva se adecúa a la carga de pedidos en un periodo determinado.

- **Contra previsiones.**

Los productos se fabrican contra un plan maestro (MPS).

El Plan Maestro se establece en base a las previsiones de venta. Estas previsiones se basan en históricos o en intuiciones de marketing.

Esta forma de producir es el origen de la sobreproducción, y representa los sistemas "push".

Suele ocurrir que las previsiones sean erróneas, por lo que hay que revisarlas continuamente y cambiarlas. Además, cuanto más lejano sea el horizonte de previsión, menos fiables será el Plan Maestro.

- **Producción contra demanda real.**

Los productos se fabrican para reemplazar los productos vendidos.

La planificación se hace en base al consumo de los productos. Es la situación deseada, y representa los sistemas "pull".

Los sistemas "pull" requieren de disciplina, activan la producción y el movimiento de materiales entre células. Para establecer un sistema "pull" en entornos de demanda variable se necesita un sistema productivo muy flexible para poder fabricar lotes pequeños y conseguir una rápida adaptación a los cambios de la demanda y una capacidad de producción también flexible para poder adaptarse a variaciones en la carga de trabajo.



Fig. 22. Sistema "push" frente a Sistema "Pull"

5. NIVELAR: Uniformar la fabricación de distintos productos.

Evitaremos con esto problemas originados por la fabricación en lotes como son:

- El producto se mueve en "oleadas" que provocan sobrecargas o periodos ociosos.
- Es difícil monitorizar el flujo.
- Cambios continuos en secuencias de órdenes de fabricación.
- "Lead time" alto que provoca la necesidad de un mayor stock de producto terminado para cumplir con el nivel de servicio.
- Reacción complicada ante cambios en los pedidos.

Para poder nivelar el flujo de materiales es necesario aumentar la flexibilidad de los procesos.

La nivelación del flujo de materiales en el proceso permite:

- Que el proceso se adapte mejor a la demanda y que sea más ágil ante variaciones en la demanda.
- Reducir el stock en curso y el "Lead Time".
- Reducir el tamaño del supermercado de productos terminados.

Una empresa será "lean" si se cumplen los siguientes principios:

❖ **Es segura, ordenada y limpia.**

Un alto porcentaje de los defectos de calidad están directamente relacionados con la seguridad, el orden y la limpieza. Una organización que no cumpla estas características tendrá generalmente una calidad pobre. Además los operarios serán más productivos trabajando en un sitio seguro y limpio.

El mejor sistema y más simple para garantizar la seguridad, el orden y la limpieza es el llamado "5S's" (sistema creado por Toyota) del que hablaremos detenidamente más adelante.

❖ **Los productos serán hechos "Just in Time" (JIT).**

Esto evitará el inventario que podría convertirse en pérdida. La producción tiene que fluir hacia los clientes (sistemas "pull") al ritmo al que ellos los piden los productos (al ritmo del "Takt Time")

❖ **Los productos tendrán calidad "Six Sigma"**

"Six Sigma" (concepto inventado por Motorola) representa el camino hacia el mínimo número de defectos, representa matemáticamente un 99,9996% de perfección, muy cerca de los cero defectos.

❖ **Los equipos de trabajo estarán autorizados para tomar decisiones.**

Cuando se presente un problema, los equipos serán los responsables de decidir qué hacer y sin la necesidad de llamar a un superior.

Es por esto que las empresas "lean" son menos jerárquicas que las tradicionales, ya que prescinden de cargos que se dediquen a supervisar y volver a supervisar. Por lo tanto, tardan menos tiempo en tomar decisiones y tienen menos costes.

❖ **La gestión visual será tomada como camino de actuación.**

La empresa creará unos tableros con la información necesaria para dar a los trabajadores una idea de cómo lo están haciendo y cómo repercute su trabajo en los resultados globales. De esta manera todos los trabajadores serán conscientes de su importancia tomarán acciones para mejorar y así aumentará su rendimiento.

❖ **La búsqueda de la perfección será el motor de la empresa.**

Esta cultura de mejora continua asegurará una constante búsqueda de maneras de hacer mejor todas y cada una de las tareas. Buscar maneras de eliminar desperdicios, de reducir inventarios y de hacer las cosas más rápidas y más fáciles.

3.2.6. Herramientas Lean

Son las que nos llevarán, tras su aplicación a la detección y posterior eliminación de los desperdicios y al cumplimiento de los distintos objetivos y principios de los que hemos hablado anteriormente.

- **Análisis de la cadena de valor (VSM).** Herramienta que ayuda a visualizar los flujos del proceso y definir la situación futura deseada.

- **Diagrama causa-efecto.** Herramienta de análisis de problemas.
- **Diagrama de Pareto.** Gráfico que permite priorizar problemas.
- **Tormenta de ideas.** Herramienta para la recopilación de ideas sobre un tema concreto.
- **Gestión visual.** Herramienta que muestra gráficamente cómo hacer las cosas.
- **5S's.** Técnica para el orden y la limpieza del puesto de trabajo.
- **Mantenimiento total productivo (TPM).** Herramienta usada para optimizar los equipos e instalaciones productivas.
- **Ciclo Kaizen.** Ciclo de mejora continua.
- **"Total Quality Management" (TQM).** *Calidad Total*
- **Just in time.** Filosofía que busca la eliminación de desperdicios de forma planificada mediante el uso de diversas técnicas como son:
 - **"Kanban".**
 - **Estandarización de operaciones.**
 - **"Single minute exchange die" (SMED).**
 - **"One piece flow" (OPF).**
 - **Células de Producción.**



Fig. 23. La casa Lean

3.2.6.1. Análisis de la cadena de valor (VSM)

Como ya hemos dicho es una descripción gráfica de la cadena de valor usando símbolos estandarizados. Con la aplicación de esta herramienta llegamos a:

- Identificar los desperdicios, por lo que podemos actuar sobre las actividades que no añaden valor al producto de forma rápida y eficaz.
- Ver el proceso de forma global, lo que permite priorizar.
- Visualizar gráficamente los puntos conflictivos y las soluciones.
- Promover el trabajo en equipo, ya que es imprescindible que en la creación del VSM participen todas las partes implicadas en el proceso.
- Comprender las causas de los problemas, con lo que la soluciones se encontraran más fácilmente y serán definitivas por atacar a la causa y no al problema.
- Visualizar no solo el flujo de materiales (materia prima, productos...), sino también el flujo de información que influye en la evolución del proceso productivo.

Es por esto que esta herramienta es imprescindible para establecer un plan de mejoras.

Posteriormente, se mostrará la elaboración del VSM del proceso objeto de este proyecto, y se verán los pasos a seguir para elaborar este tipo de mapas.

3.2.6.2. Diagrama causa-efecto

El Diagrama Causa-Efecto es una forma de organizar y representar las diferentes teorías propuestas sobre las causas de un problema. Se conoce también como "*Diagrama de Ishikawa*" (por su creador, el Dr. Kaoru Ishikawa), o "*Diagrama de Espina de Pescado*" (por su forma). Este diagrama se utiliza en las fases de diagnóstico y solución de la causa.

El diagrama de Ishikawa ayuda a graficar las causas del problema que se estudia y analizarlas. Es llamado "Espina de Pescado" por la forma en que se van colocando cada una de las causas o razones que a entender originan un problema. Permite visualizar de una manera muy rápida y clara, la relación que tiene cada una de las causas con las demás razones que inciden en el origen del problema.

La mejor manera de identificar problemas es a través de la participación de todos los miembros del equipo de trabajo y lograr que todos los participantes vayan enunciando sus sugerencias.

En la siguiente imagen se visualiza un esquema general de un Diagrama de Espina de Pescado, indicando donde se coloca el problema y donde las distintas causas.

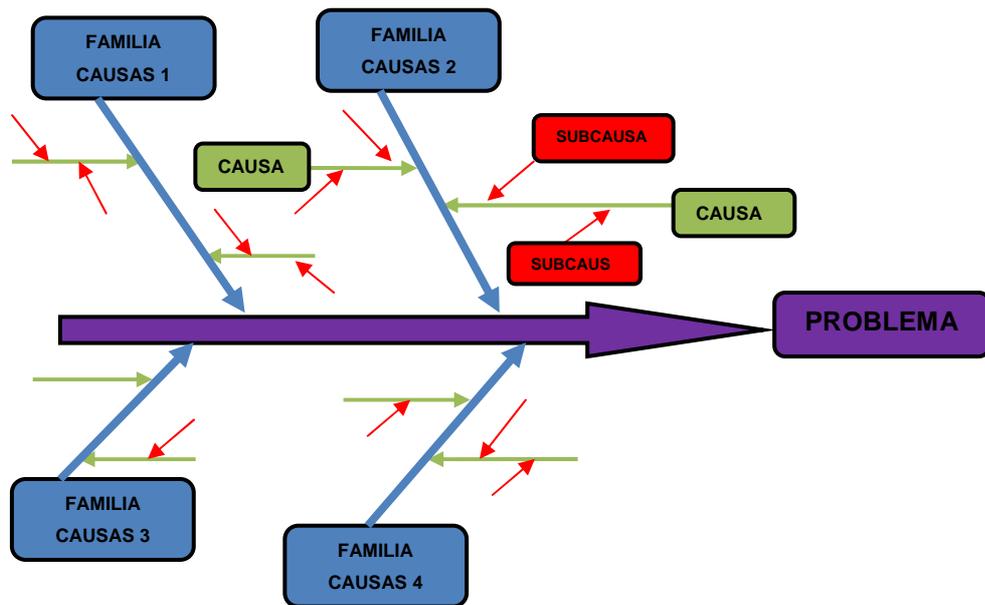


Fig. 24. Esquema general del Diagrama Causa-Efecto

Está constituido por una flecha central horizontal (ver imagen anterior) que es conocida como "línea principal o espina central" dirigida al problema a analizar (línea morada).

Posee varias flechas inclinadas que se extienden hasta el eje central, cada una de ellas representa un grupo de causas que inciden en la existencia del problema (líneas azules).

Cada una de estas flechas a su vez son tocadas por flechas de menor tamaño (líneas verdes y rojas) que representan las "causas secundarias" de cada "causa" o "grupo de causas del problema".

A continuación se muestra un ejemplo de diagrama causa-efecto creado para solucionar el problema ejemplo "Bajo rendimiento en matemáticas".

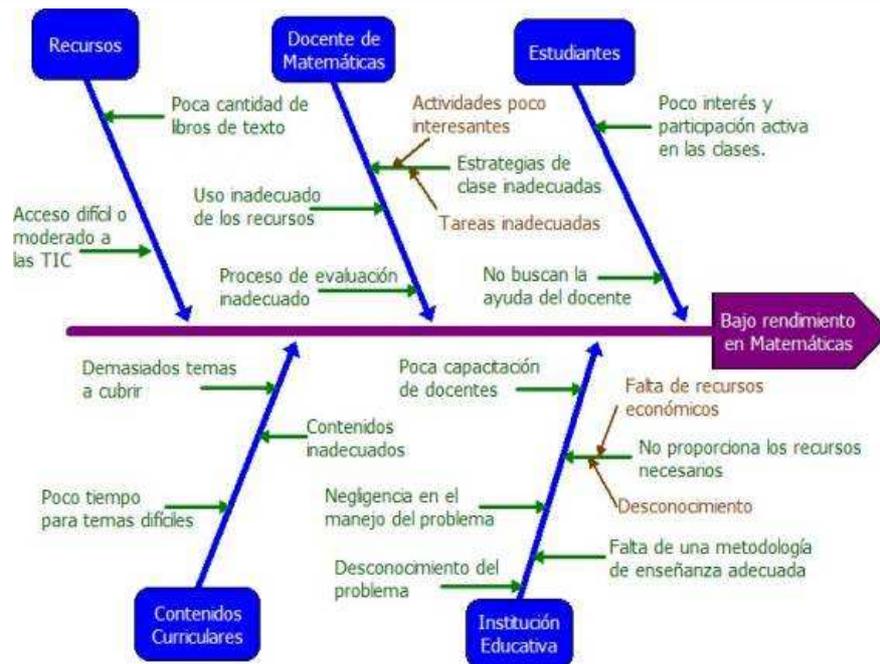


Fig.25. Ejemplo de diagrama Causa-Efecto

3.2.6.3. Diagrama de Pareto

El diagrama de Pareto, también llamado "Curva 80-20" o "Distribución A-B-C", es una gráfica para organizar datos de forma que éstos queden en orden descendente, de izquierda a derecha y separados por barras. Permite, pues, asignar un orden de prioridades.

El diagrama muestra gráficamente el "Principio de Pareto" y permite separar los pocos vitales de los muchos triviales.

Este principio afirma que en todo grupo de factores que contribuyen a un mismo efecto, unos pocos son responsables de la mayor parte de dicho efecto (pocos vitales), y la mayoría son la causa de la menor parte del efecto (muchos triviales).

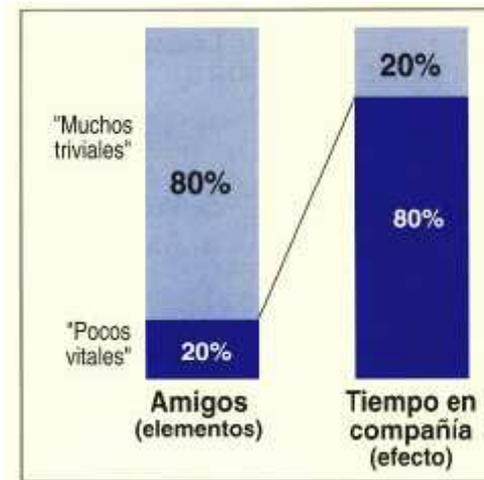


Fig.26. Principio de Pareto

Mediante la gráfica colocamos los "pocos vitales" a la izquierda y los "muchos triviales" a la derecha.

De este gráfico podemos obtener también la separación de las causas de los problemas ya que, según el principio, el 20% de las causas originan el 80% de los problemas, por tanto permite priorizar tanto los problemas como sus causas.

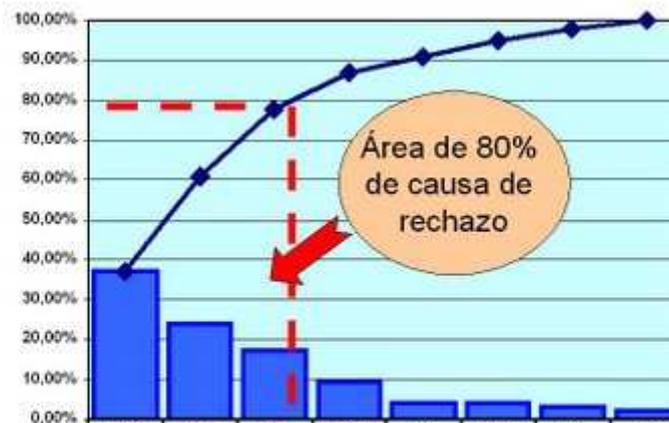


Fig.27. Ejemplo de gráfico de Pareto

3.2.6.4. Tormenta de ideas ("Brainstorming")

La Tormenta de ideas es una herramienta de trabajo grupal que facilita el surgimiento de ideas sobre un tema o problema determinado.

Es fundamental el entorno en el que se desarrolla la sesión y crear un clima que facilite la exposición de ideas. Se fomenta la participación de todos los miembros del equipo y en un principio las ideas de los demás no se critican por muy descabelladas que puedan parecer.

La lluvia de ideas se utiliza cuando es necesario generar un número alto de nuevas ideas sobre un tema concreto.

Es una herramienta que permite plantear y resolver los problemas existentes y sus causas, desarrollar la creatividad...

Los pasos que se siguen en una sesión de Tormenta de ideas son:

- Definición del tema o problema a tratar.
- Definición del conductor del grupo.
- Explicación de las reglas a seguir.
- Emisión de ideas libremente sin sacar conclusiones.
- Crear una lista con todas las ideas que hayan surgido.
- Cuando no aparezcan más ideas, analizar la lista creada, evaluar y organizar para darle a todas una utilidad en función del objetivo de la sesión.

Existen 3 métodos para hacer una sesión de tormenta de ideas:

- **No estructurado (flujo libre).** El equipo va diciendo las ideas sin seguir un orden concreto.
- **Estructurado (en círculo).** Igual que la anterior, únicamente se diferencia en que los componentes del equipo hablan de forma ordenada.
- **Silenciosa (lluvia de ideas escritas).** En este caso los participantes escriben todas las ideas que se le ocurren en un papel

manteniendo silencio. Pasado un tiempo determinado, los participantes se cambian las hojas y cada uno amplía la lista que inició el compañero.

3.2.6.5. Gestión visual

La gestión visual es una herramienta que permite la eliminación de actividades sin valor añadido mediante la simplificación máxima del trabajo. Busca que todas las actividades realizadas en el puesto de trabajo sean generadas por una orden visual.

La gestión visual permite que a simple vista quien no conozca el puesto de trabajo sea capaz de distinguir entre situaciones normales y anormales y sirve como medio de comunicación hacia prácticas deseadas.

Con este modelo de organización, se consigue que todos los detalles sean evidentes, de manera que cualquier error se hace perfectamente visible y permite detectar los problemas en su fase inicial. Se obtiene información del proceso en tiempo real.

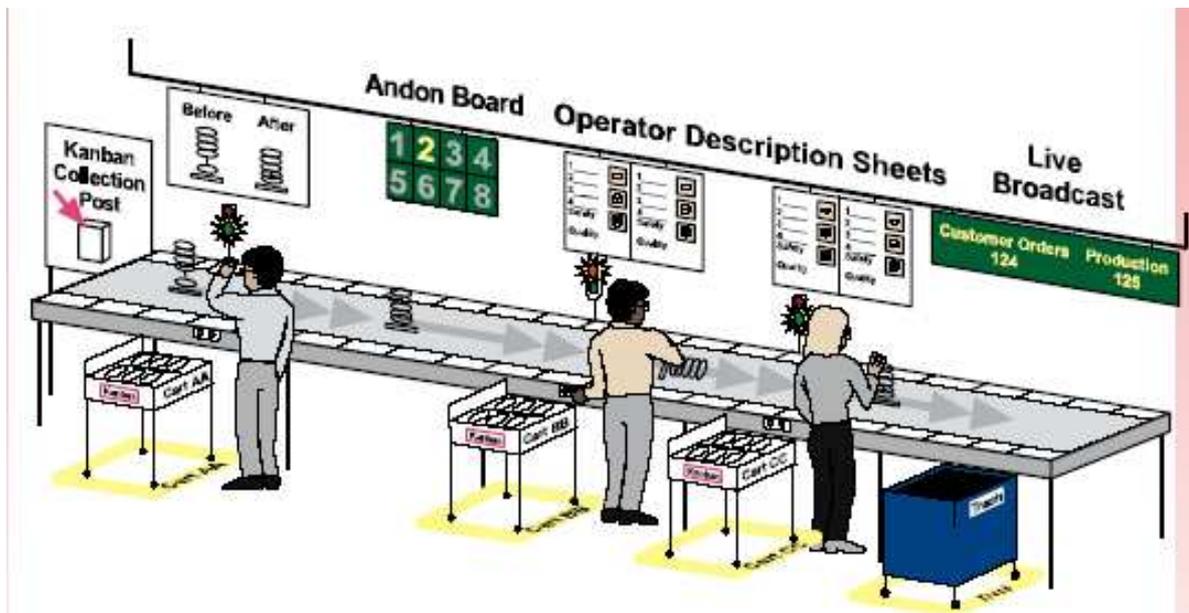


Fig.28. La Fábrica Visual

La gestión visual tiene las siguientes ventajas:

- Indica al operario sus objetivos de producción en cada momento, teniendo en cuenta lo producido en el pasado y la capacidad futura.
- Transmite la información de forma visual lo que conlleva una autogestión implícita que puede variar positivamente la actitud de las personas con respecto a sus responsabilidades.
- Fomento del trabajo en equipo.
- Ayuda e impulsa la estandarización.

❖ **Características de los sistemas de Gestión Visual**

1. **DISPONIBILIDAD.** Hacer todos los objetos disponibles de forma que el usuario pueda usar todas sus herramientas en cualquier secuencia y en cualquier momento.
2. **SIMPLICIDAD.** No sacrificar la facilidad de uso por la funcionalidad del sistema.
3. **APOYO.** Hay que proporcionar el control sobre el sistema al usuario y suministrarle asistencia para facilitar la realización de las tareas.
4. **FAMILIARIDAD.** Construir el producto según el conocimiento previo del usuario, lo que le permitirá progresar rápidamente.
5. **EVIDENCIA.** Hacer los objetos y sus controles visibles e intuitivos. Emplear siempre que se pueda representaciones del mundo real.
6. **ESTÍMULO.** Hacer las acciones previsibles y reversibles. Las acciones de los usuarios deberían producir los resultados que ellos esperan.
7. **SATISFACCIÓN.** Crear una sensación de progreso y logro en el usuario.

3.2.6.6. **5S's**

Es un sistema creado por Toyota que enfoca el trabajo en la efectividad, organización y estandarización. Busca mejorar y mantener el área de trabajo limpia, organizada y ordenada.

Así se mejora el ambiente de trabajo al reducir los desperdicios y las actividades que no agregan valor al producto y además aumentar la seguridad de las personas. Su nombre proviene de las siglas de 5 palabras japonesas:

1. **"Seiri" (clasificar):** Separar todos los artículos que sean innecesarios y eliminarlos por completo del sitio de trabajo.

¿Qué es innecesario?

- Lo que no tiene uso.
- Lo que no se utiliza en esta zona.
- La cantidad que excede de lo necesario para un periodo de tiempo.

2. **"Seiton" (ordenar):** Ordenar todos los artículos necesarios, marcarlos claramente y asegurarse que se puede acceder a ellos fácilmente.

Es decir tener **"un sitio para cada cosa y cada cosa en su sitio"**.

3. **"Seiso" (limpiar y mantener):** La limpieza debe integrarse en las tareas diarias de mantenimiento combinando los puntos de chequeo de limpieza y de mantenimiento.

Hay que recordar, que no ensuciar es mejor que limpiar. Un plan de limpiezas (tareas, frecuencias y responsables) es necesario para mantener la zona de trabajo limpia, segura y permitir la detección temprana de anomalías en equipos.

4. **"Seiketsu" (estandarizar):** Hacer de la limpieza y el orden una práctica de rutina que forme parte del día a día.

Para llegar a este punto es necesario establecer una referencia (**estándar**) de cómo tiene que mantenerse la zona de trabajo y definir formas simples de hacer las cosas para que se mantengan en el tiempo.

Estandarizar es **"Todo el mundo hace lo mismo de la misma manera"**.

El **estándar** define la forma de trabajar mejor, más fácil y más segura. Debe ser simple y claro para que todo el mundo lo entienda.

Para un trabajo únicamente puede haber un estándar. Si se modifica, el nuevo sustituye al viejo. El estándar es una guía que permite evaluar cómo se está haciendo el trabajo.

5. "Shitsuke" (disciplina): Mantener el cumplimiento de los cuatro pasos anteriores y proporcionar un sistema de mejora continua en el proceso.

Consiste en hacer un hábito de los procedimientos correctos de mantenimiento y seguir siempre los procedimientos de trabajo especificados y estandarizados. Para ello es necesario la formación del personal y muy importante crear un sistema de auditoría permanente del plan de gestión visual y las 5S's.

Dentro de las 5S's las 3 primeras son las más importantes, las otras 2 sirven para gestionar y crear el hábito de forma que se mantenga "el orden, la organización y la limpieza".



Fig.29.Técnica de las 5S's

La aplicación conjunta de estas 2 últimas (gestión visual y 5S's) herramientas dan lugar a la reducción del tiempo empleado en localización de piezas y detección rápida de anomalías (se distinguen a simple vista las situaciones normales de las anómalas). Esto agiliza el flujo continuo en el proceso.

3.2.6.7. TPM

El Mantenimiento productivo total es el mantenimiento de los índices productivos con la participación de todos los departamentos. Hace uso de una serie de métodos que aseguran que el equipo en cuestión trabaja cuando y como es requerido sin interrupciones y al ritmo deseado.

El objetivo del TPM es hacer que la responsabilidad del equipo la tenga el operario en el puesto de trabajo, no el departamento de mantenimiento o especialistas externos. De esta manera el personal de mantenimiento se centra en la mejora y el mantenimiento preventivo.

El TPM es una herramienta de mejora adecuada para aquellas empresas donde la eficiencia y calidad del proceso depende en mayor medida de los equipos. Lo que ocurre normalmente en estos casos es que la mayoría de las actividades de mantenimiento son correctivas.

Sus objetivos en resumen son:

- Maximizar la eficiencia global de los equipos (OEE).
- 0 Ajustes, 0 Defectos, 0 Averías, 0 Accidentes.
- Actuar en equipo sobre los equipos en el entorno del puesto de trabajo.

En la siguiente imagen se observan los pilares principales del TPM:

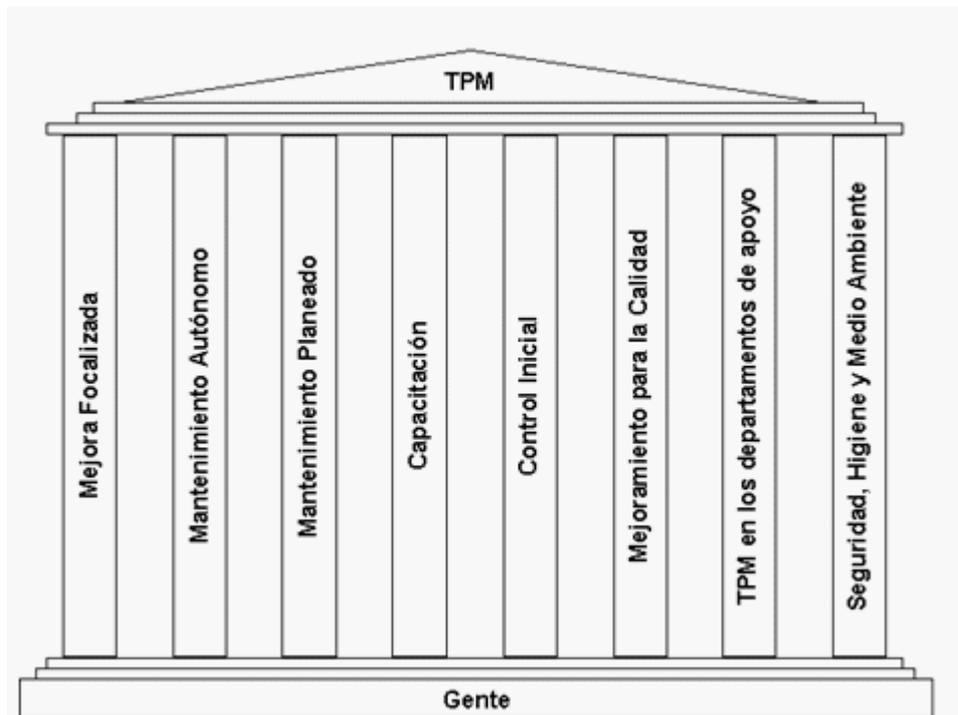


Fig.30. Pilares del TPM

❖ Beneficios del TPM

Organizativos

- Mejor calidad del ambiente de trabajo.
- Mejor control de las operaciones.
- Mayor motivación del empleado.
- Aumento de la participación, colaboración y creatividad del empleado.
- Dimensionamiento adecuado de las plantillas de personal.

Seguridad

- Mejores condiciones ambientales.
- Mayor capacidad de identificación de causas de problemas y de búsqueda de acciones de mejora.
 - Aumento del entendimiento de ciertas normas, en lugar de cómo hacerlo.
 - Mayor prevención y eliminación de causas potenciales de accidentes.

Productividad

- Eliminación de causas de pérdidas por eficacia de equipos.
- Mejor fiabilidad y disponibilidad de los equipos.
- Menores costes de mantenimiento.
- Menores costes por reprocesado.

A la hora de aplicar el TPM los pasos que deben seguirse son:

1. Identificar las fuentes de las paradas.
2. Crear diagrama de Pareto con la causas de las paradas.
3. Analizar estas causas.
4. Planificar las acciones de mejora.
5. Implantar el plan de acciones de mejora.
6. Seguimiento del plan de acciones de mejora.

❖ **Claves para la aplicación de TPM**

El TPM identifica grandes pérdidas de eficiencia en los equipos que afectan a:

- **DISPONIBILIDAD** del equipo (averías, cambios, y ajustes).

- **VELOCIDAD** del proceso (microparos, pérdida de velocidad).
- **CALIDAD** de los productos (defectos de calidad, reprocesos y mermas).

El TPM desarrolla los siguientes tipos de mantenimiento:

- ***Mantenimiento autónomo.*** Su objetivo es delegar responsabilidades al operario e incrementar su identificación con el puesto de trabajo. Sobre esto se basan los planes de mantenimiento autónomo y la detección autónoma de problemas por el operario, antes de que se dañe el equipo. Los pasos son:

- Limpiar las máquinas.
- Establecer indicadores para prevenir suciedad.
- Definir horarios para inspección y mantenimiento del equipo.
- Analizar manuales para mantenimiento regular.
- Implantar estándares para el mantenimiento autónomo.

- ***Mantenimiento planificado.*** Una vez que los mayores problemas se hayan eliminado y se haya implantado el mantenimiento autónomo se analizan las actividades para el Departamento de Mantenimiento. De aquí surge un plan de mantenimiento preventivo. Estos planes deben ser revisados continuamente.

- ***Mantenimiento preventivo.*** La meta es aprender de los registros históricos de mantenimiento y prevenir la repetición de problemas en nuevos equipos.

La "Eficiencia Global del Equipo" (OEE) es el indicador que permite medir el porcentaje de tiempo que la máquina produce piezas de calidad (tiempo de valor añadido), en comparación con el tiempo total planificado. Profundizaremos en él más adelante.

3.2.6.8. Ciclo Kaizen

Es un sistema enfocado en la mejora continua de toda la empresa y sus componentes, de manera armónica y proactiva.

Este sistema involucra a todos los niveles y funciones de la empresa. Con esto aprovechamos al máximo la capacidad e inteligencia de todos los empleados de la fábrica.

Además el Kaizen persigue mejorar el proceso con los recursos y medios existentes, es decir, prima la creatividad ante la inversión.

Por otro lado, se basa en pequeñas mejoras continuas e incrementales. Es necesario que haya sugerencias de mejora continuamente.

❖ ***Diferencias entre el sistema tradicional y el Ciclo Kaizen de mejora continua.***

SISTEMA TRADICIONAL DE MEJORA CONTINUA.



En el sistema tradicional las mejoras surgen con el objetivo de subsanar problemas, son acciones reactivas, por lo que los esfuerzos se dirigen a temas que pueden no ser claves. Por otro lado, el ritmo de la mejora no está marcado ni controlado

SISTEMA KAIZEN DE MEJORA CONTINUA.



El Ciclo Kaizen se apoya en las sugerencias de los operarios, pero las acciones de mejora no se basan únicamente en ellas. En el ciclo Kaizen las mejoras nacen de un análisis previo por lo que son mucho más efectivas. El ritmo de la mejora está programado y comprobado.

❖ ***Implantación de Kaizen.***

La implantación del Ciclo Kaizen consta de 4 etapas.

- **PLANEAR.** Para ello es necesario tomar datos y analizarlos para planificar el plan de acciones de mejora.
- **HACER.** Llevar a cabo las acciones planificadas.
- **VERIFICAR.** Controlar el proceso de cumplimiento del plan propuesto.
- **ACTUAR.** Mantener vivo el plan de acciones, buscar nuevos temas sin dejar el seguimiento a acciones anteriores.

Los principios básicos a la hora de implantar el Ciclo Kaizen son los siguientes:

1. Eliminar la improvisación.
2. Pensar en cómo hacerlo, no en porque no puedo hacerlo.
3. No buscar la perfección apresuradamente.
4. Poner metas cortas y posibles.
5. Corregir inmediatamente cualquier error.
6. Evitar las inversiones, usar los recursos existentes y el conocimiento.
7. Las ideas de Kaizen son infinitas, muchas nacen en el camino.

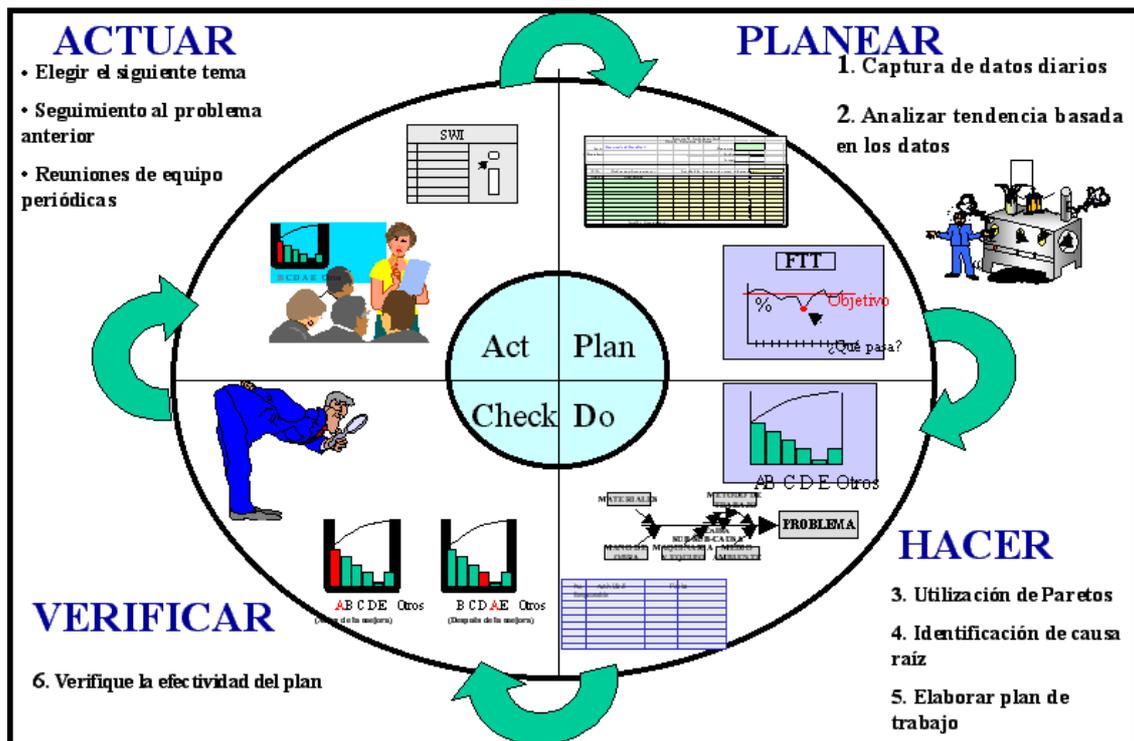


Fig.31. Etapas del Ciclo Kaizen

3.2.6.9. Calidad Total (TQM)

Calidad Total es la mentalidad de no recibir, producir ni entregar información, servicios ni productos de mala calidad. La calidad total busca prevenir los errores en su origen, ir a la causa, no a la consecuencia.

La calidad del producto es la resultante de la calidad del proceso de manufactura, es decir, a calidad se produce, no se "controla".

Para conseguir la Calidad Total hay que hacer un seguimiento de los procesos mediante los siguientes controles:

A. Auto-Control.

Cada operario revisa al 100% la calidad de la operación que está realizando, para lo que existen herramientas que facilitan la labor:

- **Poka-Yoke:** dispositivos que evitan las acciones incorrectas.
- **Autonomación:** dispositivos con los cuales las máquinas reconocen por si producen con calidad.
- **Andon:** sistemas de visualización de problemas y defectos en las propias operaciones.

El auto-control consiste en:

- Controlar constantemente al 100%.
- Detectar de forma inmediata los problemas y sus fuentes.
- Ejecutar acciones correctivas en el momento que surge el primer problema.
- Prevenir la producción de otras piezas defectuosas inmediatamente.

B. Control sucesivo.

Control de los procesos al 100%. En este caso el control es realizado por personas que no participan en el proceso controlado (por ejemplo, personal de verificación o el operario de la siguiente actividad).

En ambos casos, una vez detectado el error, el operario debe retroalimentar el proceso erróneo inmediatamente, identificar la causa y las personas que tengan que tomar una acción correctora inmediata hacia el origen del problema.

Decidirse por uno u otro método depende del proceso en cuestión, de las limitaciones del mismo y de la formación del personal involucrado.

C. Control estadístico.

En casos concretos o para mejorar el desempeño de calidad, recurre al control estadístico. Se basa en la estadística para determinar la frecuencia de las pruebas de forma que se asegure la confianza en las mismas.

3.2.6.10. Justo a Tiempo

Justo a Tiempo es una filosofía industrial que consiste en la reducción de desperdicio desde la compra de la materia prima hasta la expedición del producto final. Existen muchas formas de reducir el desperdicio, pero el Justo a Tiempo se apoya en el control físico del material para ubicar el desperdicio y, finalmente, forzar su eliminación.

La idea básica del Justo a Tiempo es producir un artículo en el momento que es requerido para que este sea vendido o utilizado por la siguiente estación de trabajo en un proceso de fabricación.

Dentro de la línea de producción se controlan en forma estricta no sólo los niveles totales de inventario, sino también el nivel de inventario entre las células de trabajo. La producción dentro de la célula, así como la entrega de material a la misma, se ven impulsadas sólo cuando un stock se encuentra debajo de cierto límite como resultado de su consumo en la operación posterior.

Además, el material no se puede entregar a la línea de producción o la célula de trabajo a menos que se deje en la línea una cantidad igual. Esta señal que impulsa la acción puede ser un contenedor vacío o una tarjeta Kanban, o cualquier otra señal visible de reabastecimiento, todas las cuales indican que se han consumido un artículo y se necesita reabastecerlo.

❖ **Los 7 pilares de Justo a Tiempo**

1. Igualar la oferta y la demanda.

No importa lo que pida el cliente, hay que producirlo como se requiera y cuando se requiera. Hay que buscar que el tiempo de entrega se reduzca al máximo. Esto se consigue reduciendo los tiempos de cambio, las esperas y los tamaños de lotes.

2. El peor enemigo: el desperdicio.

Eliminar los desperdicios desde la causa raíz realizando un análisis de la célula de trabajo.

3. El proceso debe ser continuo no por lotes.

Esto significa que se deben producir solo las unidades necesarias en las cantidades necesarias, en el tiempo necesario. Para lograrlo existen 2 opciones:

A. Tener los tiempos de entrega muy cortos. Es decir, que la velocidad de producción sea igual a la velocidad de consumo y que se tenga flexibilidad en la línea de producción para cambiar de un modelo a otro rápidamente.

B. Eliminar los inventarios innecesarios. Para eliminar los inventarios se requiere reducirlos poco a poco. Como hemos dicho, el inventario oculta los problemas existentes.

4. Mejora Continua.

La búsqueda de la mejora debe ser constante, tenaz y perseverante paso a paso para así lograr las metas propuestas.

5. Es primero el ser humano

La gente es el activo más importante. JIT considera que el hombre es la persona que está con los equipos, por lo que son claves sus decisiones y logran llevar a cabo los objetivos de la empresa.

6. La sobreproducción es sinónimo de ineficiencia.

Se debe eliminar el "por si acaso" utilizando otros principios como son la Calidad Total, organización del lugar de trabajo, Mantenimiento Productivo Total (TPM), Cambio rápido de modelo (SMED), simplificar comunicaciones, etc.

7. No vender el futuro.

Las metas actuales tienden a ser a corto plazo, hay que reevaluar los sistemas de medición, de desempeño, etc... EL JIT no solo implica al proceso productivo, para planificar también hay que usar esta filosofía.

Las técnicas principales de Justo-a-tiempo son:

- A. Kanban.
- B. Estandarización de operaciones.
- C. Células de Producción.
- D. SMED.
- E. Flujo por pieza.

A. KANBAN

Kanban es un sistema para manejar los flujos de manera sencilla y visual. Cada operación tira de los que necesita del proceso anterior. El proceso proveedor entrega o produce exactamente lo que está definido.

ACF Example Inc.	
Numero Pieza	No. Tarjeta
nombre pieza	
proveedor	usuario
tipo de contenedor	cantidad de piezas por contenedor
TARJETA KANBAN	
No. tarjeta despues del proceso	

Fig.32. Ejemplo de tarjeta Kanban

La etiqueta Kanban sirve como orden de trabajo, esta es su función principal. Es un dispositivo de dirección automático que nos da información acerca de qué se va a producir, en qué cantidad y mediante qué medios.

B. ESTANDARIZACIÓN DE OPERACIONES

Estandarizar significa realizar una determinada operación siempre de la misma manera y en el mismo tiempo, de modo de obtener resultados repetitivos. El objetivo de la estandarización es la reducción de las variaciones en un proceso.

Sólo podremos estandarizar las operaciones una vez que las hayamos "liberado" de todos los desperdicios que mencionamos anteriormente. Una vez que la operación está libre de desperdicios, tenemos que asegurarnos que las condiciones de trabajo sean óptimas. También debemos preocuparnos de que cada empleado esté debidamente capacitado en su puesto de trabajo y que conozca las especificaciones de la tarea que tiene que realizar.

Cuando se reúnen todas estas condiciones, podemos pensar en estandarizar las operaciones. Esto se puede conseguir haciendo que cada operario escriba detalladamente los pasos que sigue en cada operación de su

proceso para conseguir su objetivo. Una vez que tengamos una hoja de descripción por cada operación y estén correctamente ubicadas sobre cada puesto de trabajo, debemos asegurarnos que cada empleado siga fielmente, cada vez que realiza una operación, lo que él mismo escribió. Esta hoja debe ser un documento vivo. Además debe estar escrito de forma que cualquier operario que lo lea, sea capaz de realizar la operación que describe correctamente.

Una operación sólo puede mejorarse cuando puede medirse, y sólo puede medirse cuando está estandarizada. Por lo tanto, la estandarización es el primer paso hacia la mejora continua.

C. CÉLULAS DE PRODUCCIÓN.

Se trata del esquema (layout) de máquinas de diversas funciones para el procesamiento de una misma pieza en una sucesión en forma de "U", que permite el flujo por pieza y la polivalencia del operario.

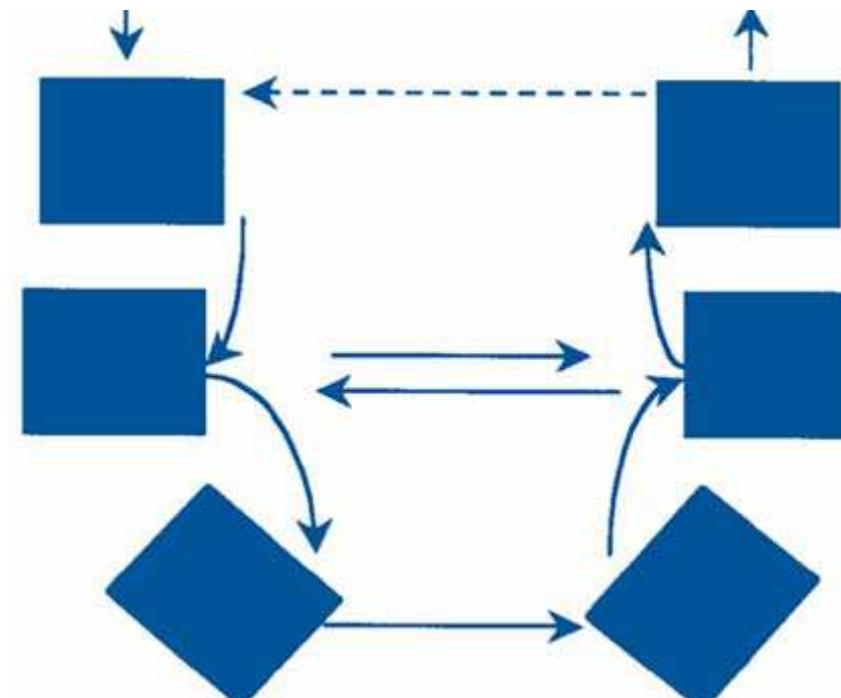


Fig.33. Ejemplo de proceso en "U"

La gestión por células de producción consiste en organizar las empresas en compartimentos individuales, independientes y dinámicos, para que cada parte de la cadena de valor en la empresa resuelva sus propios problemas, teniendo una dirección propia y sobre todo cierta independencia de las grandes líneas de decisión.

Cada célula de producción se encargará de un proceso específico, deberá tener una dirección propia y será autónoma en decisiones de su organización interna.

Una de las ventajas de trabajar por células es que cada una de ellas se puede adaptar fácilmente a los cambios haciendo a la organización en su conjunto más eficiente por ser más flexible.

Las células de producción deben manejar inventarios pequeños suficientes para no parar la producción. Se deben manejar sistemas de información dinámicos, para que el intercambio entre células de producción sea adecuado y se debe compartir un proceso conjunto con otras células de trabajo.

D. REDUCCIÓN DE TIEMPOS DE CAMBIO ("SMED").

Consiste en una serie de técnicas dirigidas a disminuir el tiempo de cambio de formato de las máquinas que intervienen en el proceso productivo.

El tiempo que se asigna al cambio se mide desde la última pieza buena tipo 1 hasta que se produzca la primera pieza buena tipo 2. El objetivo es que el tiempo de cambio no interfiera en el flujo continuo de la producción.

"SMED" significa "Cambio de útiles en minutos de un solo dígito" ("*Single Minute Exchange Die*"). Lo que se busca es disminuir el tiempo de cambio, no hacerlo más rápido.

Sus objetivos son:

- Flexibilidad: Al disminuir el tiempo de cambio es más fácil fabricar series cortas, por tanto el tiempo de reacción a cambios en la planificación es menor.
- Productividad: Al eliminar tiempos de cambio el coste de mano de obra es menor y aumenta la producción aún usando menos recursos.
- Calidad: al disminuir el tamaño de las series disminuye también el coste de no calidad ante la detección de algún defecto.
- Capacidad: Al disminuir el tiempo de cambio la disponibilidad de la máquina aumenta y con ello la capacidad de producción.

Se distinguen 2 tipos de actividades en el proceso de producción:

1. Operaciones Internas: operaciones que se realizan a máquina parada, fuera de las horas de producción (ajustes, fijación de útil a la máquina...).
2. Operaciones Externas: operaciones que pueden realizarse con la máquina en marcha mientras produce.

Se siguen varias fases para aplicar esta técnica:

Fase 0: Análisis de la situación actual, definiendo actividades internas y externas, midiendo tiempos, estudiando las condiciones del cambio...

Fase 1: Separar tareas externas e internas. Asegurarse de que los ajustes externos se realizan con la maquina fabricando e intentar convertir los ajustes internos en externos (si es posible).

Fase 2: Mejora de operaciones de preparación, tanto internas como externas para reducir al máximo sus tiempos.

Fase 3: Eliminar los ajustes que no sean totalmente necesarios, para reducir aún más el tiempo de cambio.

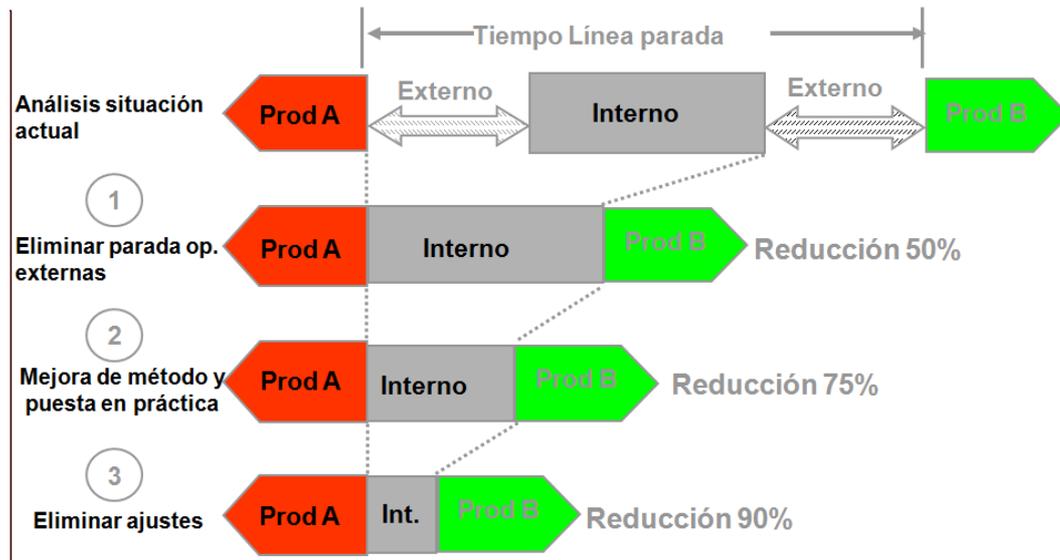


Fig.34. Esquema fases aplicación SMED

E. Flujo por pieza (OPF)

Flujo pieza a pieza consiste en fabricar las piezas una a una, pasando cada una de ellas al proceso siguiente sin interrupciones. Se implementa creando células de trabajo para reducir la necesidad de transporte, tiempos de espera y niveles altos de inventario.

Cuando sea imposible crear este tipo de flujo (por ser máquinas que funcionen en lotes) se separan estos procesos por lotes del flujo continuo y se conectan mediante de un Supermercado Pull o línea FIFO ("first in, first out").

El OPF tiene varias ventajas:

- Mejora la calidad, ya que los defectos se detectan antes y puede darse el feedback inmediatamente.

- Disminuye el "lead time".
- Reduce el inventario.
- Minimiza la utilización de recursos por la eliminación de desperdicios.

3.2.7. Indicadores lean

En Lean solo se puede controlar y mejorar aquello que se mide. Para medir distintos parámetros del proceso se usan los indicadores.



Fig.35. Indicadores usados en Lean

3.2.7.1. "Overall Equipment Effectiveness" (OEE)

La eficiencia global del equipo (OEE) es un indicador que evalúa el rendimiento del equipo mientras está en funcionamiento. Mide el porcentaje del tiempo en que una maquina produce realmente las piezas, comparadas con el tiempo ideal que fue planeado para hacerlos. La diferencia entre real e ideal debe eliminarse, puesto que es un desperdicio.

La ventaja del OEE frente a otros ratios es que mide, en un único indicador, todos los parámetros fundamentales en la producción industrial: la disponibilidad, el rendimiento y la calidad.

Es posible saber si lo que falta hasta el 100% se ha perdido por disponibilidad (no se produjo durante todo el tiempo que se podría haber producido), rendimiento (no se produjo a la velocidad que se podría haber producido) o calidad (no se produjo con la calidad que se podría haber producido).

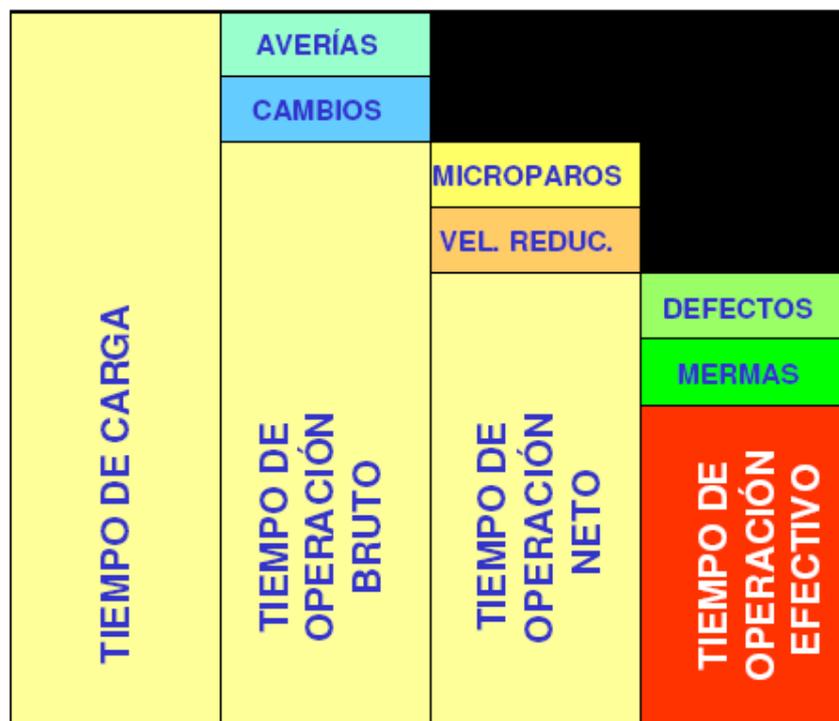


Fig. 36. Pérdidas en la eficiencia del equipo.

Se consideran 6 grandes pérdidas para el cálculo del OEE:

- 1- Averías
- 2- Cambios de configuración o ajustes
- 3- Microparos
- 4- Reducción de velocidad
- 5- Defectos
- 6- Mermas

Las dos primeras grandes pérdidas afectan a la **Disponibilidad**, las dos siguientes disminuyen el **Rendimiento** y las últimas a la **Calidad**.

❖ **CALCULO OEE**

El OEE se calcula del siguiente modo:

$$\text{OEE} = (\text{Disponibilidad}) \times (\text{Rendimiento}) \times (\text{Tasa de Calidad})$$

Los 3 ratios son valores entre 0 y 1, por lo que se expresan en forma de porcentajes.

• **DISPONIBILIDAD.**

Mide las pérdidas de los equipos debido a paros no programados. Incluye pérdidas de tiempo productivo por paradas debidas a averías y a esperas.

La Disponibilidad resulta de dividir el tiempo que la máquina ha estado produciendo (**Tiempo de operación bruto**) por el tiempo que la máquina podría haber estado produciendo (**Tiempo de carga**). El Tiempo de Carga es el tiempo total de operación menos los periodos en los que no estaba planificado producir por razones legales, días festivos, almuerzos, mantenimientos programados, etc., lo que se denominan paradas planificadas.

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo operación bruto}}{\text{Tiempo de carga}}$$

• **RENDIMIENTO.**

Mide las pérdidas causadas por el mal funcionamiento del equipo o las causadas por el no funcionamiento a la velocidad requerida y al rendimiento determinado por el fabricante. Incluye pérdidas de velocidad por pequeñas paradas y pérdidas de velocidad por velocidad reducida.

El Rendimiento resulta de dividir el **Tiempo de operación neto** entre el **Tiempo de operación bruto**. También puede decirse que este tiempo es el tiempo de operación bruto a que le hemos descontado los tiempos de paradas debidas a microparos y reducción de velocidad.

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Tiempo de Operación Neto}}{\text{Tiempo de operación bruto}}$$

- **TASA DE CALIDAD.**

Es el porcentaje de la producción total que se produce sin defectos. El tiempo empleado para fabricar productos defectuosos deberá ser estimado y sumado al tiempo de paradas ya que durante ese tiempo no se han fabricado productos conformes. Este ratio incluye las pérdidas por tiempo de reproceso y pérdidas de tiempo productivo (tiempo empleado en fabricar piezas defectuosas).

La tasa de calidad resulta de dividir el **Tiempo de operación efectivo** entre el **Tiempo de operación neto**. El tiempo de operación efectivo es el tiempo que la maquina realmente se encuentra produciendo piezas buenas, es decir el tiempo neto al que le descontamos las paradas por defectos o mermas.

$$\text{Tasa de calidad} = \frac{\text{Tiempo de Operación Efectivo}}{\text{Tiempo de Operación Neto}}$$

Las unidades producidas pueden ser Conformes o No Conformes. A veces, las unidades No Conformes pueden ser reprocesadas y pasar a ser unidades Conformes. El OEE sólo considera buenas las que se salen conformes la primera vez, no las reprocesadas.

❖ **CLASIFICACIÓN OEE**

El valor del OEE permite clasificar una o más líneas o toda una planta según los valores de OEE.

A. OEE < 65% INACEPTABLE.

Se producen importantes pérdidas económicas y la competitividad es muy baja.

B. 65% < OEE < 75% REGULAR.

Solo puede considerarse aceptable si se está en proceso de mejora.

C. 75% < OEE < 85% ACEPTABLE.

Es un valor que puede aceptarse siempre que se continúe hacia la mejora continua y así poder superar el 85 %.

D. 85% < OEE < 95% BUENA.

E. OEE > 95% EXCELENCIA.

3.2.7.2. "Lead Time"

Es el tiempo transcurrido desde la realización de un pedido hasta la entrega efectiva del producto o servicio. Es decir, el tiempo que tarda la materia prima desde que llega al proceso productivo, en recorrer toda la cadena de valor, y llegar a ser expedido como producto final.

Con él podemos calcular otro indicador llamado "Ratio de valor añadido", que se calcula dividiendo el tiempo total de valor añadido por el Lead Time de la cadena:

$$\text{RVA} = \frac{\text{Tiempo de Valor Añadido}}{\text{Lead Time total}} \times 100$$

Fig. 37. Ratio de valor añadido.

Este indicador da una idea del porcentaje de tiempo que realmente se le está dando valor al producto. Por ejemplo, si el RVA está alrededor del 10%, significa que siendo el Lead Time del proceso de 10 días, solo se incorpora valor al producto durante un periodo equivalente a un día.

3.2.8. Etapas de la implantación de la Filosofía Lean

Podemos distinguir 4 etapas claves a la hora de implantar la metodología Lean Manufacturing en una organización. Estas 4 etapas son la que se han seguido a la hora de realizar el presente proyecto.

3.2.8.1. Fase de diagnóstico

La primera etapa consiste en analizar la situación inicial, buscando en todo momento las causas de los desperdicios y problemas existentes. Se siguen varios pasos.

A. IDENTIFICACIÓN DEL FLUJO DE VALOR.

En este paso se utiliza la herramienta VSM, con la que se visualizará el proceso productivo de forma que se podrán conocer los puntos del mismo susceptibles de mejora.

B. DETECCIÓN DE PROBLEMAS.

Una vez conocidas y analizadas las áreas de mejora, se buscan en ellas los problemas y desperdicios a eliminar. El objetivo es encontrar todas las actividades que no aportan valor al proceso y puedan eliminarse. Se hace uso

de las herramientas de análisis como son el Pareto, la tormenta de ideas, el diagrama causa efecto...

C. ANÁLISIS DE LAS CAUSA RAÍCES.

Conocidos los problemas existentes ahora hay que encontrar su causa para actuar sobre ella y no sobre el problema concreto.

3.2.8.2. Fase de determinación del estado futuro

En esta fase se busca definir el objetivo al que se quiere llegar tras la aplicación de Lean.

A. DEFINICIÓN DE LAS ACTUACIONES.

En primer lugar es necesario definir los planes de actuación que se seguirán en todas las áreas a mejorar.

B. DEFINICIÓN DE ACTIVIDADES.

Una vez se tengan claro los planes de actuación, hay que desglosarlos en actividades o tareas concretas a ejecutar para materializar la consecución de los mismos. Así se definen los planes de acciones de mejora.

C. DEFINICIÓN DE RESPONSABLES Y PLAZOS.

Una idea básica para tener éxito al aplicar Lean es que es imprescindible el respaldo y la implicación de todos los componentes de la misma.

Para conseguir los objetivos marcados hay que crear grupos de trabajo, definir en cada uno de ellos un responsable de equipo y poner un plazo para la ejecución de los planes de acción definidos en las fases anteriores.

D. DEFINICIÓN DE INDICADORES.

Como ya hemos dicho en Lean hay que medir. Es la única manera de conocer el punto en que se encuentra la implantación de la metodología y de conocer cómo va evolucionando. Para ello se utilizan los indicadores.

En esta fase hay que decidir los indicadores que se usaran y los datos necesarios a tomar para poder calcular los indicadores.

E. DEFINICIÓN DE OBJETIVOS.

En todo sistema de gestión de una empresa es vital que todos los implicados conozcan la meta a la que se quiere llegar para que puedan dirigirse a ella. Esta fase debe ser paralela a todas las anteriores.

3.2.8.3. Fase de implantación

Esta etapa consiste en la aplicación de las actuaciones y actividades definidas en la anterior. Es decir, es la etapa de ejecución.

Se implantarán las acciones de eliminación de desperdicios y paralelamente se hará el seguimiento a los indicadores definidos anteriormente.

Si los objetivos marcados no se cumplen habrá que actuar en consecuencia proponiendo nuevas acciones de mejora a las que también habrá que hacerles el seguimiento.

3.2.8.4. Mejora Continua

El proceso Lean no termina en la fase de implantación sino que se analizarán y aplicarán continuamente todas las nuevas ideas y sugerencias de mejora que vayan surgiendo. Para ello los grupos de trabajo deben reunirse

periódicamente, no solo para seguir las actividades inicialmente lanzadas, sino para lanzar otras nuevas.

Si se alcanza el primer objetivo marcado, marcar uno nuevo más exigente de forma que se comience el ciclo de trabajo de nuevo.

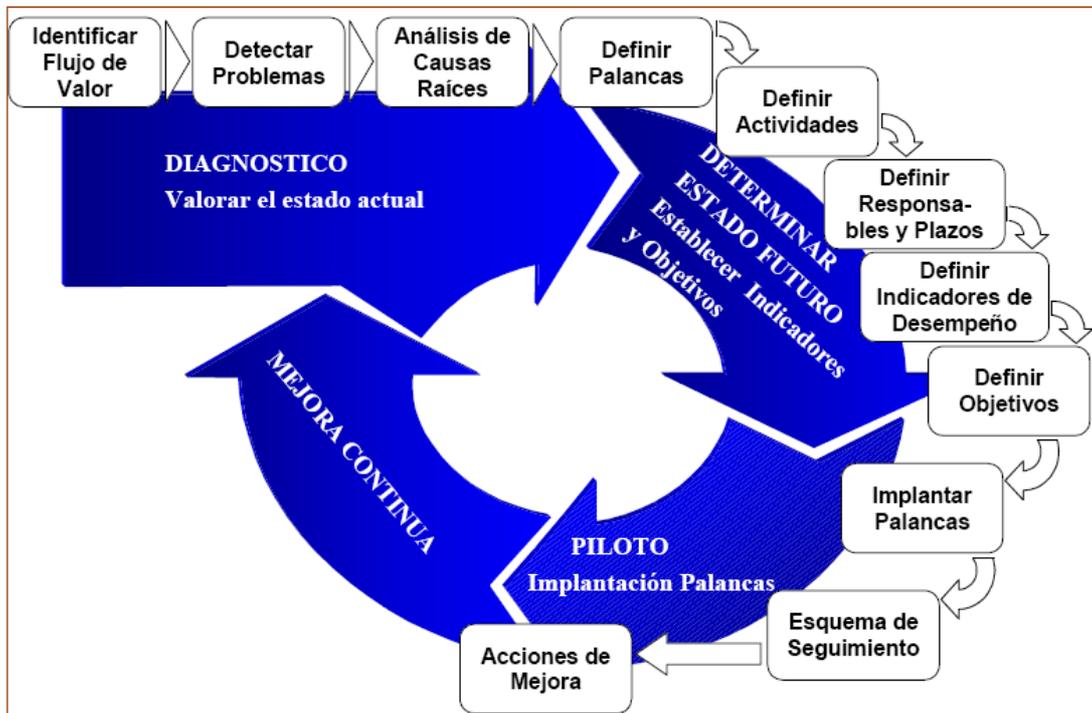


Fig. 38. Fases en la aplicación de la metodología Lean Manufacturing

3.3. METODOS DE FABRICACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS

3.3.1. Introducción

Los procesos de fabricación con materiales compuestos utilizan diferentes tipos de fibras o tejidos, impregnados o no en resina para conseguir el diseño deseado y la fabricación final de la parte con material compuesto.

La utilización o no de un tipo de proceso se realiza teniendo en cuenta factores económicos, logísticos, ingenieriles, etc. Los procesos de fabricación incluyen tanto métodos automáticos o manuales así como procedimientos de encolado y fabricación de estructuras sándwich y laminares.

Dentro de los procesos de fabricación el más utilizado en la industria aeronáutica es el llamado "*Moldeo por Autoclave*".

En este proceso varias capas de material preimpregnado se sitúan en un útil, realizándose una "*bolsa de vacío*", y posteriormente introduciendo todo el montaje en el autoclave, donde se produce la polimerización (curado) en unas condiciones determinadas de presión y temperatura.

El proceso de posicionamiento de las capas de preimpregnado puede realizarse mediante laminado manual ("*Hand Lay-up*"), o laminado automático ("*Automated Tape Laying*" o ATL y "*Fiber Placement*" o FP).

En la tabla siguiente vemos las diferencias principales entre el apilado manual y los dos tipos de laminado automático de los preimpregnados:

TIPO LAMINADO	PROS	CONTRAS
MANUAL	<ul style="list-style-type: none"> - Fabricación de estructuras simples y complejas. - Inversiones moderadas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Coste laboral alto. - No buen aprovechamiento de material.
A.T.L.	<ul style="list-style-type: none"> - Costes laborales menores que en el lay-up manual. - Mejor aprovechamiento del material. - Partes planas o con poca curvatura. 	<ul style="list-style-type: none"> - Inversión alta. - Material caro. - Requerimientos dimensionales del material muy estrictos.
F.P.	<ul style="list-style-type: none"> - Mejor aprovechamiento de material que en ATL. - Costes laborales menores que con ATL. - No se necesita compactación. - Partes con geometría compleja y con mucha curvatura. 	<ul style="list-style-type: none"> - Inversiones muy altas. - Material más caro. - Requerimientos dimensionales del material muy estrictos.

Tabla 4. Comparativa entre métodos de fabricación de composite.

Las máquinas en las que se llevan a cabo los procesos de laminado automático (ATL y FP) se pueden observar en las siguientes imágenes:

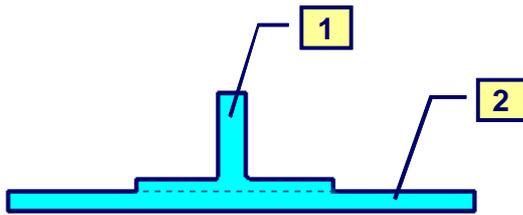


Fig.39. Máquina A.T.L.



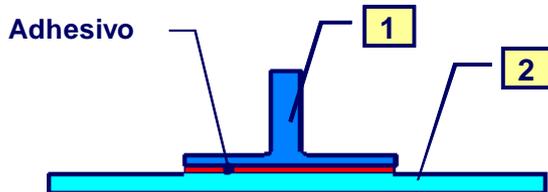
Fig. 40. Máquina F.P.

Existen varios métodos de unión entre piezas de materiales compuestos fabricadas con preimpregnados que pueden observarse en la imagen siguiente:



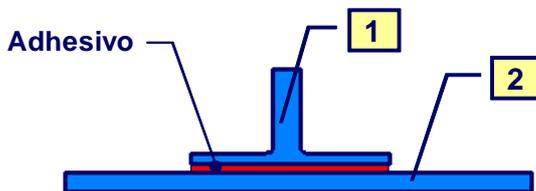
COCURADO

- Componente 1 fresco
- Componente 2 fresco



COENCOLADO

- Componente 1 curado
- Componente 2 fresco



ENCOLADO SECUNDARIO

- Componente 1 curado
- Componente 2 curado

Fig.41. Formas de unión de piezas de materiales compuestos.

En cualquier tipo de laminado es necesario un útil sobre el que posicionar el material preimpregnado. Existen varios tipos de útiles, según sea su función. En la siguiente tabla vemos un resumen de los tipos de utillaje más usados en aeronáutica:

NOMBRE	FUNCIÓN	NOMBRE	FUNCIÓN
FDOO	Funciones diversas	PLCN	Corte núcleo
GROO	Grada	PLPN	Posicionado núcleo
IZOO	Izado	SPOO	Soporte
PEAU	Pegado autoclave	SPUL	Soporte US
PETR	Pegado RTM	TLPL	Plantilla taladrado
PEFP	Encintado	TSOO	Transporte

Tabla 5. Tipos de útiles para fabricación de composites.

En el caso del laminado manual, el útil más importante es el **PEAU**. Sobre el PEAU se colocan las telas y todo el conjunto, una vez finalizado el laminado manual, entra en el autoclave para el curado.

En el caso de la pieza lleve núcleo se hace uso del **PLPN**, que se usa para posicionar el núcleo sobre el laminado en el lugar correcto. En la siguiente imagen vemos un PEAU de laminado manual sobre el que hay colocado un PLPN.



Fig.42. Ejemplo de PEAU con PLPN

Para el laminado automático mediante F.P. existen 2 tipos de utillaje muy importantes, el **PEFP**, útil sobre el que la máquina posiciona el material y el **PEAU**, útil al que se traspasa la pieza una vez finalizado el apilamiento para su posterior curado. Vemos en las imágenes siguientes un ejemplo de cada uno de ellos.



Fig. 43. Útil PEFP para capó A380



Fig. 44. Útil PEAU para capó A380

Además de estos métodos, existen otros menos usados a nivel industrial que se utilizan entre otras cosas para el desarrollo y diseño de nuevas piezas.

Estos métodos implican la utilización de cintas o tejidos secos que se impregnan con resinas líquidas en unas condiciones controladas, polimerizándose en una fase posterior con las geometrías y dimensiones finales de la pieza acabada. Ejemplos de estos métodos son el "Resin Transfer Molding" (RTM) y la Infusión.

A. RTM

El método RTM utiliza por un lado la fibra seca (5) y por otro la resina pura en estado líquido (7), que se mezcla con un catalizador (8) antes de impregnar la fibra para que la polimerización se haga de forma controlada.

Este método utiliza un molde (2) y un contramolde (1) y un equipo de RTM (4) que es el que se encarga de mezclar e inyectar esta mezcla para impregnar la fibra. Es una mezcla de resina pura y catalizador (6) lo que impregna la fibra seca (ver imagen siguiente).

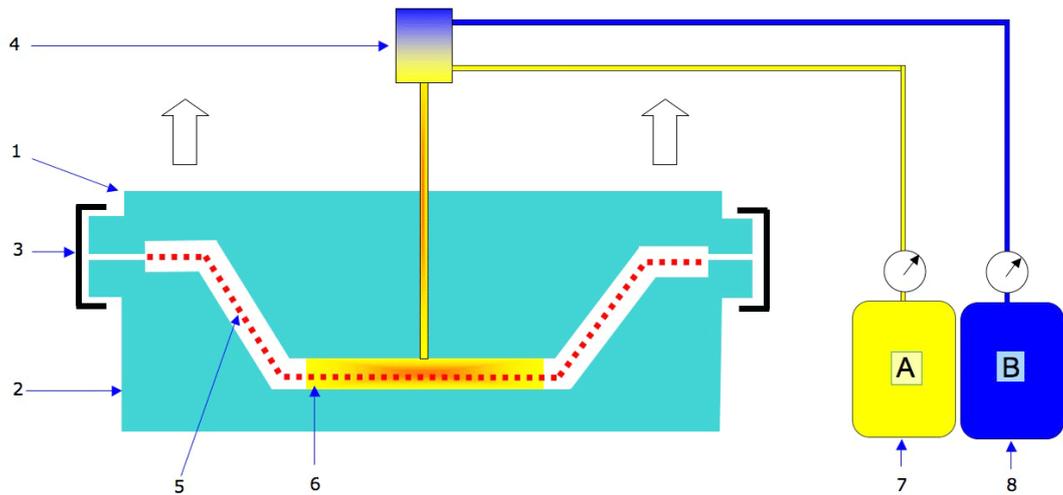


Fig.45. Esquema funcionamiento Método RTM

En las siguientes fotografías vemos distintos pasos del método RTM. La primera imagen muestra un molde y en la segunda imagen vemos como se coloca la fibra seca sobre el mismo. Por último vemos como se ha cerrado el sistema con el contramolde y se está inyectando la resina.



Fig.46. Molde



Fig.47. Colocación fibra seca.



Fig.48. Contramolde e inyección de resina.

B. INFUSIÓN

El proceso básico consiste en posicionar primero las telas de fibra sin ningún aporte de resina. Una vez terminada esta primera fase se colocan sobre el conjunto la bolsa de vacío y otros consumibles específicos de la infusión. S

El transporte de la resina se hace mediante una red y unos canales de distribución, que se disponen a lo largo del área central del molde y reciben a lo largo de su recorrido las diversas conducciones de entrada que conectan con el recipiente presurizado de la resina, mientras las tomas de aspiración de vacío que conducen al colector y la bomba se sitúan en su periferia.

Una vez sellado el conjunto y con la ayuda del vacío se realiza una primera compactación que ayuda a estabilizar la pieza y aumentar el contenido en fibra por volumen. Tras alcanzar el nivel de depresión deseado se abren los conductos de entrada para saturar la pieza con la resina líquida mientras todo el aire del interior es expulsado a través de las conducciones de vacío. Esta fase fundamental se realiza gradualmente y de una sola vez.

En la siguiente figura se observa el funcionamiento del método de infusión:

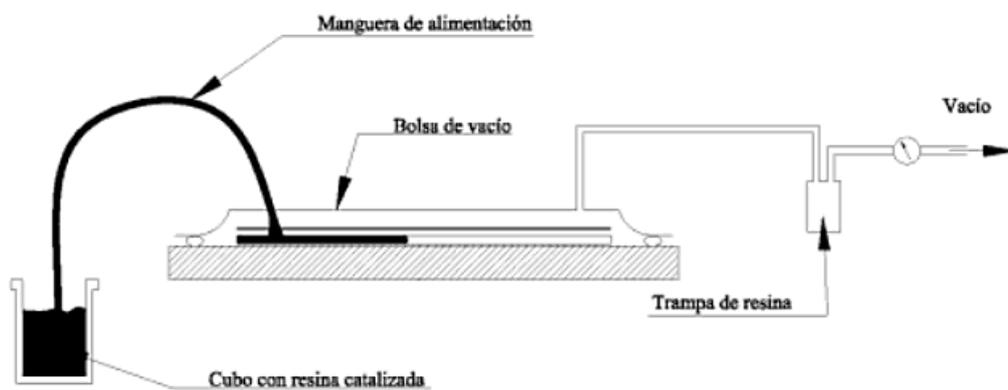


Fig.49. Esquema funcionamiento Método Infusión.

Como se observa, la resina fluye gracias al efecto de la bomba de vacío colocada en el extremo de las conducciones. En este caso, se usa molde pero no contramolde ya que se hace una bolsa de vacío.

En la imagen se aprecia cómo se prepara el sistema para proceder a la infusión de resina. Se observan las conducciones colocadas a lo largo de la pieza y la red (tela verde) usada para mejorar la transferencia de la resina por toda la fibra.



Fig. 50. Preparación del sistema de Infusión.

Como ya hemos visto, el objeto de este proyecto es la optimización del proceso de producción de piezas de materiales compuestos fabricadas por el método F.P.

Además de exponer detenidamente este método de fabricación, también explicaremos con detenimiento el laminado manual por ser el más importante en la industria aeronáutica y porque también está implicado en el proceso de fabricación de piezas laminadas en la máquina F.P.

Por tanto exponemos a continuación, todos los pasos de los procesos de fabricación de composites por "*Lay-up manual*" y "*Fiber Placement*".

3.3.2. Taller de fabricación de "Composites"

Antes de ver detenidamente los pasos del proceso de fabricación de composites usando preimpregnados (moldeo por autoclave), se muestra el taller de fabricación de los mismos, que como veremos, tiene unas características muy especiales por exigencias de la normativa aeronáutica sobre el uso de materiales preimpregnados.

Se expondrá también en este punto el "layout" del área de materiales compuestos donde se desarrolló el proyecto.

Las zonas principales en que podemos dividir el área de materiales compuestos son:

3.3.2.1. Área Limpia

Es la sala limpia la zona donde se laminan las piezas tanto de forma manual como automática. El material preimpregnado, una vez fuera de su bolsa de polietileno no puede salir de esta zona hasta estar la bolsa de curado cerrada.

Según el proceso de fabricación y la normativa aeronáutica, es una zona donde las condiciones ambientales deben estar controladas. Por ello es una zona aislada con temperatura, presión, calidad del ambiente y humedad controlada y constante.

La sala limpia tiene una serie de requisitos muy específicos que son los que se observan en la gráfica siguiente:

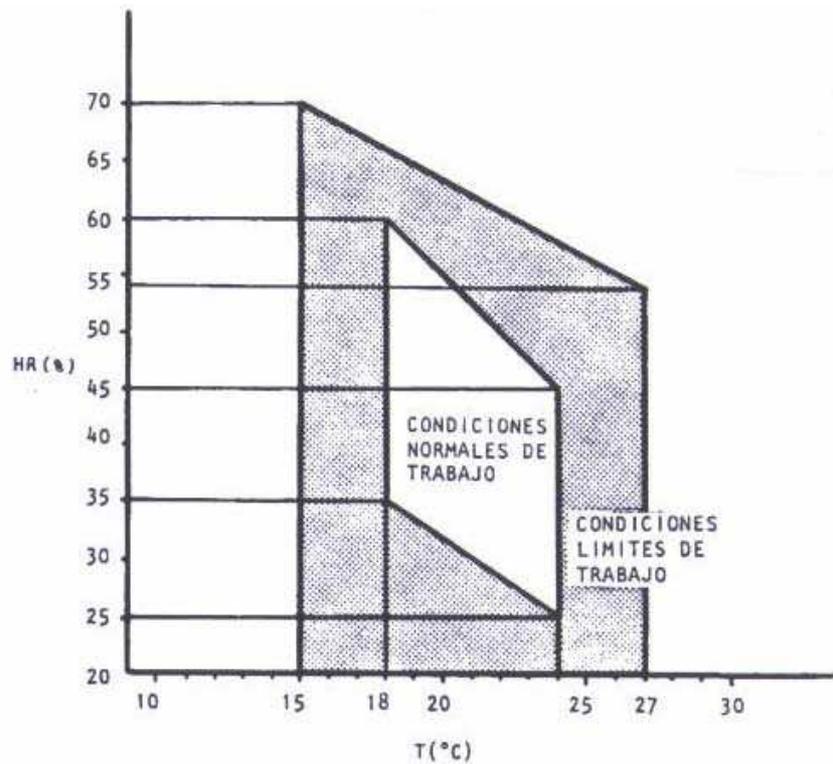


Fig. 51. Requisitos ambientales Sala Limpia

En el gráfico se observa que la temperatura ideal de trabajo está entre los 18 °C y los 24 °C. La humedad relativa no debe superar en ningún caso el 70%.

Además de esto la se controla la concentración de partículas mayores a 5 micras mediante unos filtros que se comprueban mensualmente. Por otro lado, la velocidad de sedimentación de partículas de más de 10 micras en el ambiente no debe superar los 40 cm² a la hora.

En el área limpia se mantiene una sobrepresión mínima de 0.5 mbar para que el exterior no contamine la sala. Para mantener esa sobrepresión se dispone de un sistema de doble puerta que impide abrir una sin tener anteriormente la otra cerrada.

Incluso la vestimenta está controlada en la sala limpia, cualquier persona que entre en ella debe ponerse una bata blanca limpia y para manipular cualquier material hay que usar guantes blancos de algodón.

Además de las normas citadas hasta ahora podemos resumir las reglas más importantes recogidas en la normativa aeronáutica sobre el comportamiento en una sala limpia:

- Prohibido comer, beber y fumar.

- Prohibido efectuar el mantenimiento y la limpieza de los útiles (como veremos posteriormente, para esta operación se hace uso de productos que pueden contaminar el ambiente del área limpia.

- Prohibido hacer uso de utensilios o herramientas sucias.

- Prohibido el uso de motores o equipos que desprendan aceites, grasas, lubricantes, humos o cualquier otro tipo de contaminante.

- Prohibido hacer uso de cualquier tipo de producto (disolventes, aceites, lubricantes...) que pueda contaminar el área.

Tanto el suelo como las paredes están cubiertos de materiales que facilitan la limpieza. La normativa indica cómo y cuándo debe hacerse la limpieza del área:

- Equipos, suelos, bancos de trabajo... → Se recomienda una limpieza diaria aunque como mucho se permite hacerla semanalmente.

- Paredes hasta una altura de 2,10 m → Deben limpiarse como mínimo una vez al mes.

- Resto de paredes, techos, dispositivos colgantes → Anualmente debe hacerse la limpieza de estas partes, y una vez al mes deben inspeccionarse para comprobar que no existe demasiada suciedad.

La sala limpia está dividida por programas aeronáuticos, es decir, por grupos de piezas pertenecientes al mismo avión, manteniéndose siempre fija la posición de las máquinas de encintado automático. Es importante que la sala sea diáfana para poder modificar el "layout" según las necesidades de la producción.

El "layout" de la sala limpia se modifica según las necesidades de la producción y los programas existentes en cada momento excepto la maquinas de encintado automático que tiene sitio fijo.

Dentro del área limpia existe una pequeña cámara frigorífica donde se almacenan los materiales preimpregnados (deben estar a temperaturas muy inferiores a la ambiente).

3.3.2.2. Área Sucia ó taller exterior

Esta área se encuentra dividida por zonas específicas:

- Autoclave.
- Desmoldeo
- Mecanizado (desmoldeo, repaso...)
- Verificación (manual, Inspección ultrasónica automática y manual...)
- Almacenaje (almacén de materia auxiliar, cámara frigorífica, utillaje...)
- Expediciones

En este área se efectúan todas las operaciones finales de la pieza, es decir, las que se hagan tras en curado de la misma. Además se almacena el material auxiliar, el utillaje y la materia prima. Para esta última existe una

cámara frigorífica donde se guarda el stock de preimpregnados. De esta cámara sale el material necesario por semanas y se pasa a la cámara de la sala limpia donde únicamente se almacena el material que va a ser usado a corto plazo.

3.3.2.3. "Layout" área Composites

A continuación se muestra el "layout" del área e composites en el momento de la realización del presente proyecto.

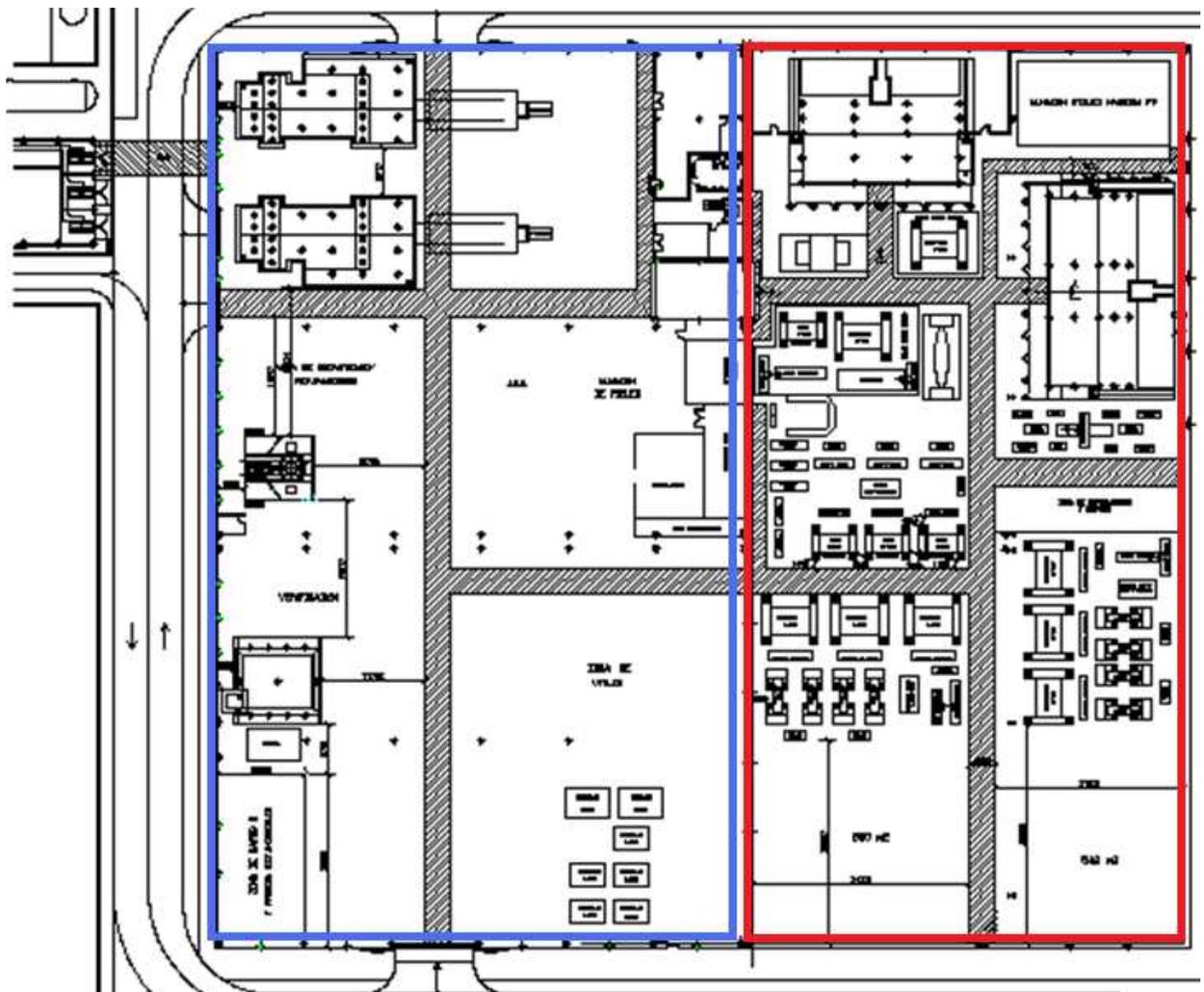


Fig. 52. Área Materiales compuestos.

En la imagen anterior vemos las 2 zonas principales del área de materiales compuestos. La zona delimitada por la línea roja es el Área Limpia, y la zona delimitada por la línea azul es el taller o área sucia.

A continuación vemos las áreas en que se divide cada zona.

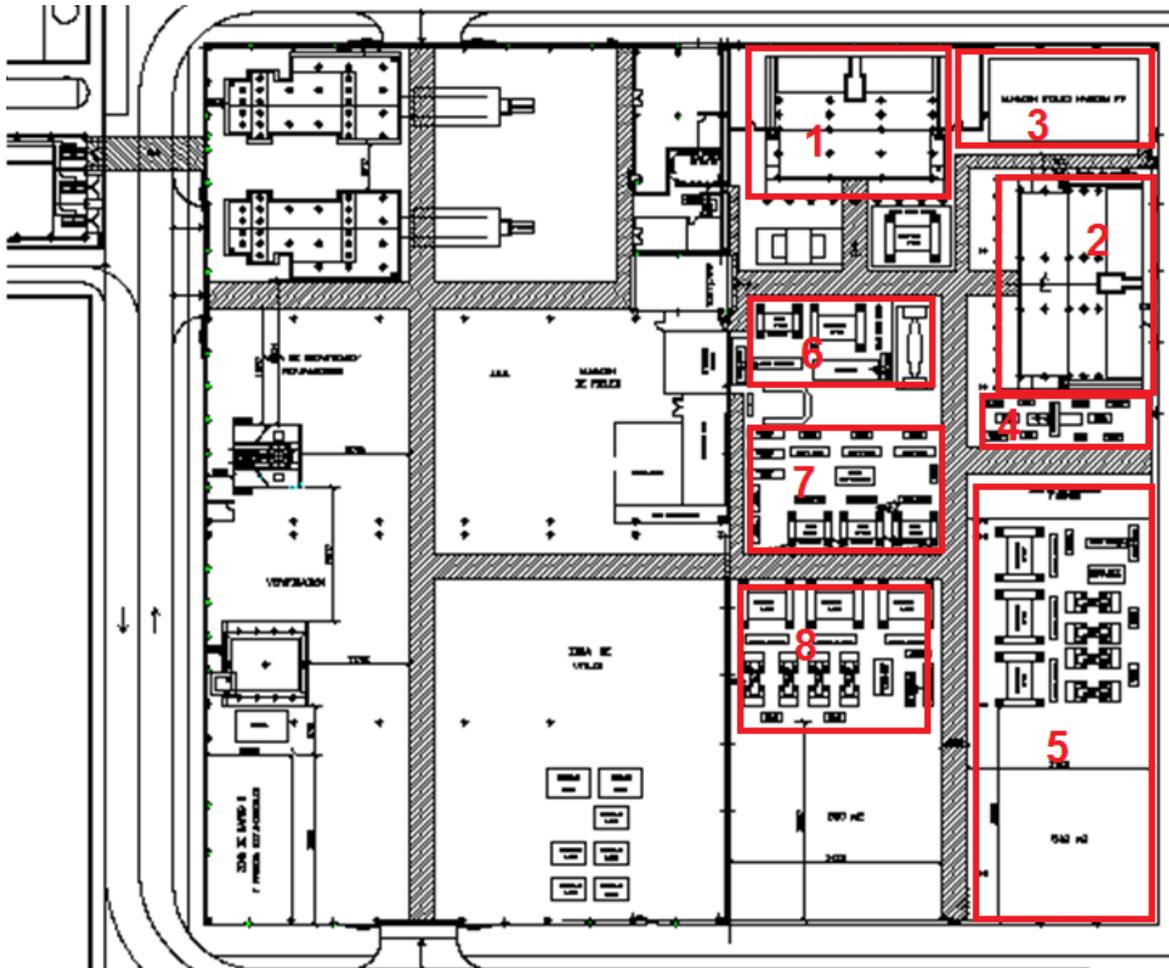


Fig. 53. Zonas de la sala limpia.

1. MAQUINA F.P. 1.
2. MAQUINA F.P. 2.
3. ALMACEN UTILES MAQUINAS F.P. Es esta zona se almacenan los PEFP de ambas máquinas.
4. ZONA REPARACIONES. En este área se realizan las reparaciones que no pueden hacerse en el taller por usar materiales preimpregnados.
5. ZONA LAMINADO "Omegas longitudinales" para A380T, A380GP y A340.
6. ZONA LAMINADO CAPÓS A340.
7. ZONA LAMINADO CAPÓS A380GP.
8. ZONA LAMINADO CAPÓS A380T.

Las únicas zonas que tienen posición fija son las de las máquinas. El resto puede modificarse en función de las necesidades de producción.

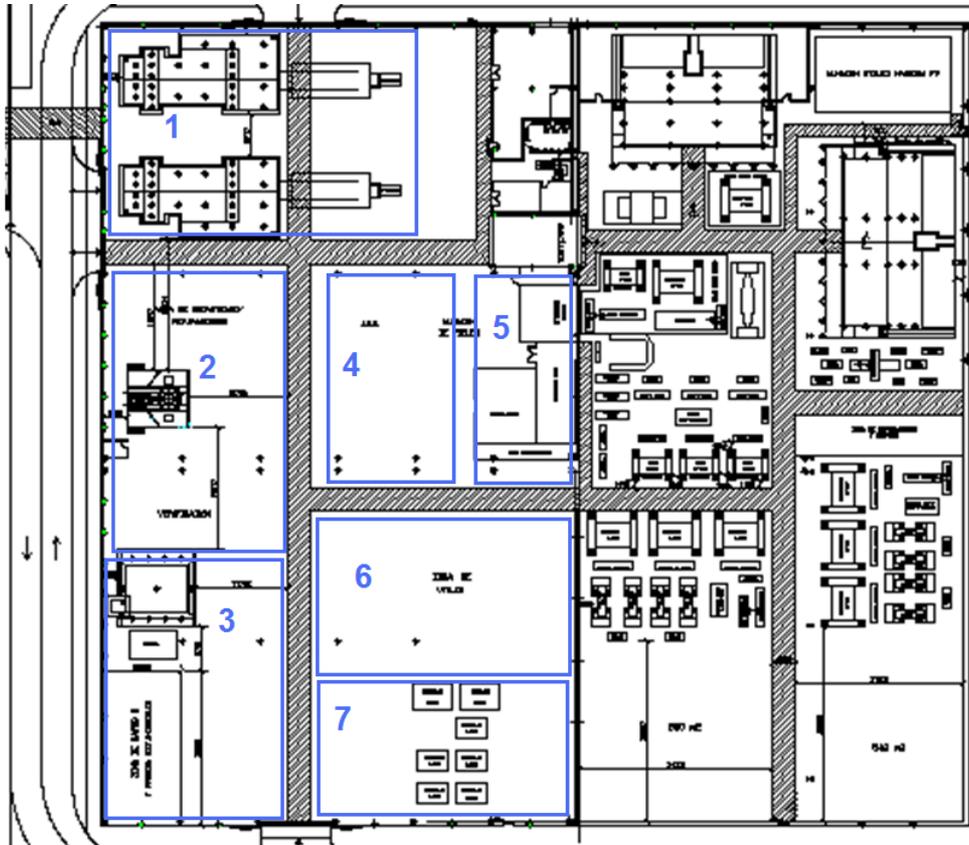


Fig. 54. Zonas del área sucia.

1. AUTOCLAVE.
2. ZONA MECANIZADO. Repaso, recanteo, taladrado...
3. ZONA VERIFICACION. En esta zona está la máquina de Inspección por ultrasonidos automática.
4. ZONA DESMOLDEO.
5. ZONA ALMACÉN MATERIA PRIMA. En esta zona está el almacén de materia auxiliar y materia prima. Desde esta zona se tiene acceso también a La pequeña cámara frigorífica que existe dentro del área limpia.
6. ZONA ALMACÉN UTILLAJE.
7. ZONA EXPEDICIONES.

El "layout" de esta área también puede ser modificado según la necesidades, excepto el autoclave y la máquina de inspección ultrasónica.

3.3.3. Materiales auxiliares

A continuación se exponen una serie de materiales auxiliares utilizados en el método de fabricación de composites "Moldeo por Autoclave". Al exponer el proceso de fabricación se verá cómo y cuando se usan cada uno de estos materiales.

Los materiales auxiliares son todos los materiales utilizados en el proceso de fabricación de piezas con material preimpregnado y en los procesos finales de las mismas (montaje, pintura, etc.) pero que en ningún caso se mantienen en la pieza final. Por ello también se les llama "Materiales no avionables".

Son tan importantes como los propios materiales estructurales y el uso de uno u otro tipo debe ser estudiado dependiendo de la pieza a fabricar.

Existe un documento propio de cada pieza, el **R.E.P.** (requisitos específicos del proceso), que indica que materiales auxiliares en concreto se deben usar en la fabricación de dicho producto además de dar otra mucha información relevante (ciclo de curado, procesos finales, tipos de inspecciones, probetas de control de proceso...). Entre los más usados están:

- Pelables.
- Desmoldeantes.
- Separadores.
- Películas de vacío.
- Aireadores.
- Sangradores.
- Retenedores.
- Pasta sellante.
- Cintas adhesivas.
- Otros...

3.3.3.1. Tejidos pelables

Se posicionan directamente en contacto con el material preimpregnado, eliminando así los riesgos de contaminación.

Se eliminan fácilmente de la pieza una vez curada y crean una superficie con cierta rugosidad que facilita procesos posteriores como la pintura o el encolado. También se utilizan como protección superficial en aquellas piezas que pueden ser objeto de contaminación por tener que estar largo tiempo almacenadas, por sufrir procesos de mecanizado...

Son tejidos de nylon o poliéster preimpregnados en el agente desmoldeante (el más usado es el llamado "peel-ply"). Se almacenan junto con la materia prima y deben usarse dentro de su vida útil.

3.3.3.2. Desmoldeantes

Es uno de los materiales más críticos en el proceso de construcción de la bolsa de vacío. Son materiales de gran capacidad de desmoldeo que se aplican en los útiles para facilitar el "despegado" de la pieza de material compuesto una vez curada. Existen de 2 tipos, líquidos (el más usado en el "Frekote 33") y sólidos (el "tooltec" es el que más se utiliza).

Los desmoldeantes líquidos pueden aplicarse con brocha o con trapos blancos de algodón que no dejen hilachas. Los sólidos, que se presentan en rollos y llevan un adhesivo incorporado para facilitar su posicionamiento en el útil, se extienden sobre el mismo evitando las arrugas y las oclusiones de aire.

Si el molde no va a usarse directamente tras la aplicación del agente desmoldeantes debe protegerse hasta el momento del laminado para evitar contaminaciones de la superficie. La aplicación de agentes de desmoldeo se realizará en zonas ventiladas al exterior, nunca en la sala limpia.

3.3.3.3. Películas separadoras

Sirven para separar los materiales preimpregnados del resto de materiales que forman la bolsa de vacío. Una de sus principales características es su color rojo.

Existen dos tipos de películas separadoras, las perforadas y las no perforadas. Las primeras sirven también como sangradores, ya que por los poros se permite el paso de volátiles y de excesos de resina.



Fig. 55. Ejemplo de película separadora.

3.3.3.4. Películas de vacío

La películas de vacío es la que se encarga de sellar el laminado. Una vez que se coloca y se sella, se realiza el vacío en el interior para eliminar el aire que pueda existir entre capas del apilado. Suelen ser películas de Nylon que se colocan que garantizan el vacío y permiten la compactación de las telas durante el apilado.

Las hay de varios tipos, las usadas para las bolsas de compactación y las usadas para la bolsa final o de curado (éstas son las que entran en el

autoclave y deben resistir mayores temperaturas). En el caso del laminado automático, se usan también como protección del útil y normalmente se utiliza la corrugada para favorecer la extracción de aire sin necesidad de utilizar un tejido aireador.



Fig. 56. Ejemplo de película de bolsa.

A la hora de seleccionar el tipo de bolsa a utilizar hay que tener en cuenta:

- La temperatura de trabajo (será distinta según sea para bolsa de compactación o de curado).
- Su mayor o menor elongación (si la bolsa a fabricar es compleja, es recomendable que sea flexible).
- El ancho del rollo (no se pueden hacer empalmes en las bolsas)

3.3.3.5. Aireadores

Los tejidos aireadores son los que hacen posible la extracción del aire ocluido durante el proceso de laminado. Son tejidos sintéticos hechos a partir de fibras de poliéster. El más utilizado es el llamado "Airweaver"

No deben estar nunca en contacto con el material preimpregnado, por lo que hay que colocar entre ellos una película separadora.

Además de la función de permitir la circulación del aire existente dentro de la bolsa de vacío actúan, durante el ciclo de curado, como absorbentes de los posibles excesos de resina.

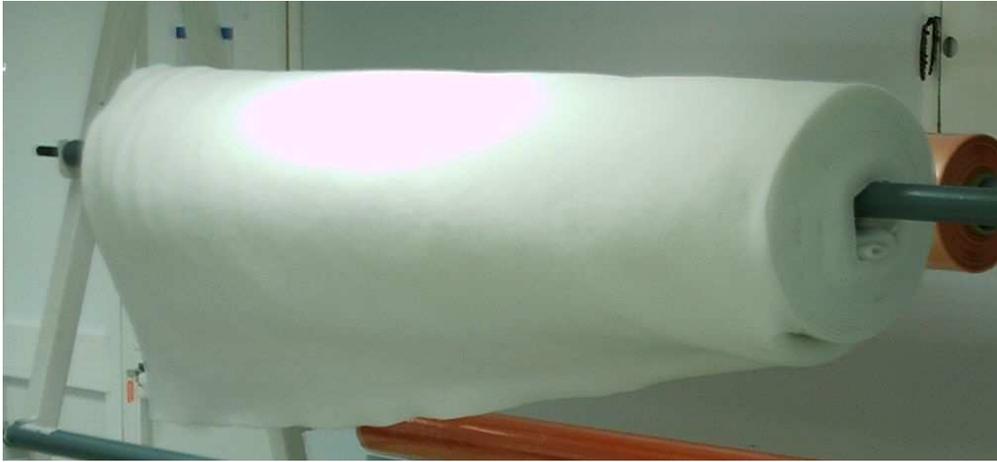


Fig. 57. Ejemplo de tejido aireador (Airweaver)

También se utiliza a la hora de realizar las bolsas de vacío la cinta de fibra de vidrio. Se coloca alrededor de todo el contorno de la pieza y las tomas de vacío se colocan sobre ella para que el aire se extraiga correctamente.



Fig. 58. Cinta de fibra de vidrio aireadora.

3.3.3.6. Sangradores

Permiten la eliminación del exceso de resina de los materiales preimpregnados en los procesos, que así se requiera, optimizando el porcentaje final fibra/resina de la pieza real. Estos materiales sintéticos no entramados absorben la resina sobrante y pueden ser de fibra de vidrio seca o tejido pelable (“peel-ply”).



Fig. 59. Tejido Sangrador

3.3.3.7. Retenedores

Son los materiales que evitan el flujo excesivo de resina (sangrado) y el distorsionamiento que puede sufrir debido a la presión, en su contorno durante el ciclo de curado. Se situará retenedor de corcho en el perímetro de la pieza.

Pueden ser de corcho, metal, caucho, silicona... El más usado es el primero.

3.3.3.8. Pasta sellante

Es una cinta de caucho butilo, de unos 15 mm de anchura y unos 3 mm de espesor, utilizada en el sellado de la bolsa de vacío sobre el útil de encintado. También se denomina "masilla".

Tiene una alta adherencia y gran capacidad de adaptación a irregularidades de la bolsa y del útil permitiendo el mantenimiento del vacío dentro de la bolsa durante el ciclo de curado. Su principal característica es, además de la adherencia, su baja dureza, ya que a muy bajas presiones debe ser fácilmente deformable para adaptarse a todas las irregularidades.

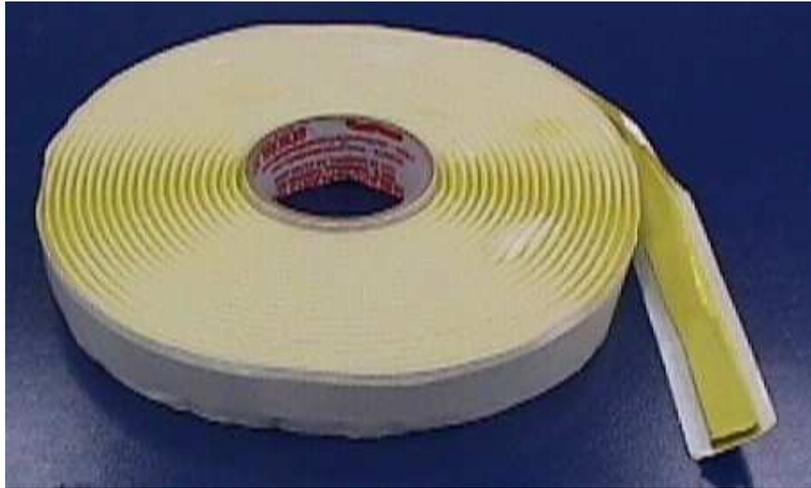


Fig. 60. Masilla

3.3.3.9. Cintas adhesivas

Son películas de poliéster de de alta resistencia, revestidas en una o ambas caras con adhesivos. Se utilizan para:

- Sujetar los materiales auxiliares dentro de la bolsa.
- Fijación de termopares durante el ciclo de curado (cintas adhesivas de alta temperatura).
- Delimitación de zonas.
- Enmascaramientos.
- Protección a daños.



Fig. 61. Cinta adhesiva de alta temperatura.

3.3.3.10. Otros

- **Guantes.** Muy importantes, sin ellos está totalmente prohibido tocar cualquier tipo de material preimpregnado o auxiliar antes de su curado. Deben ser de nylon y blancos.
- **Trapos.** Se usan para la limpieza del utillaje. Suelen ser de algodón y no pueden tener hilachas. Deben estar siempre secos antes de su uso.
- **Tedlar.** Es una película impermeabilizante de Polifluoruro de Vinilo (PVF) que se presenta en rollos y es encolable por las dos caras. Puede utilizarse en superficies de piezas que no vayan a sufrir un tratamiento posterior de pintura con el fin de reducir la absorción de humedad de la pieza después del curado.
- **Espátulas.** Se utilizan para adecuar el material preimpregnado a la forma del útil, lo que se denomina "peinar las telas". Solo pueden usarse las de nylon según normativa aeronáutica.



Fig. 62. Espátula de nylon.

- **Toma de vacío.** Son conectores que al unirlos mediante una manguera a un sistema de vacío permiten evacuar el aire del interior de la bolsa.

- **Termopar.** Son cables metálicos utilizados durante el ciclo de curado para controlar la temperatura del elemento. Antes de utilizarlos en el ciclo, deben comprobarse eléctricamente para asegurar su buen funcionamiento. La colocación de los termopares no es aleatoria, debe hacerse homogéneamente de forma que pueda conocerse la temperatura de toda la pieza. El número de termopares usado depende del tamaño y geometría de la pieza.



Fig. 63. A la izquierda una toma de vacío, a la derecha un termopar.

Hasta aquí los materiales auxiliares más importantes del proceso de fabricación de composites por laminado, tanto manual como automático. Existen otros muchos más que se usan en procesos o casos especiales.

3.3.4. Introducción al proceso de laminado automático mediante "Fiber Placement"

El Posicionado Automático de Fibras es un proceso de fabricación de piezas de materiales compuestos de refuerzo unidireccional (no es válido para tejidos) y matriz termoestable. Consiste básicamente en la colocación de fibra preimpregnada sobre la superficie de un útil designado como mandril. Estas fibras se aplican en un formato de cinta o mecha (a diferencia de los procesos de laminado manual, donde el material se presenta en forma de telas), cuya pequeña anchura permite su aplicación sobre superficies con curvatura.

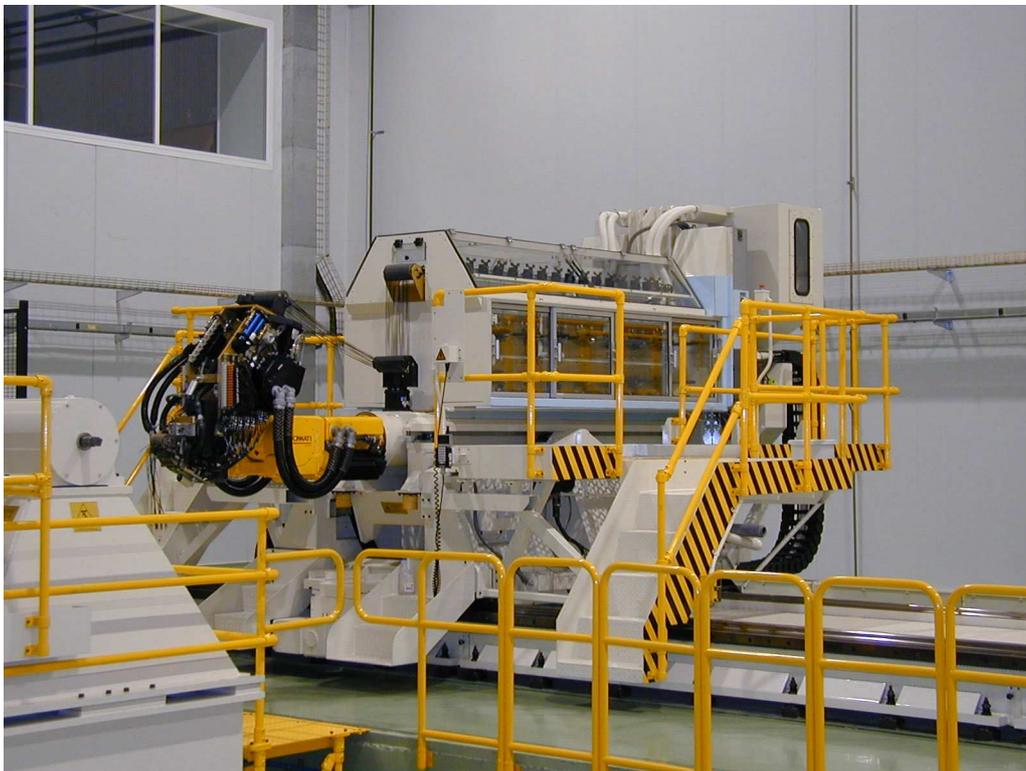


Fig. 64. Máquina Fiber Placement.

El proceso de fabricación de piezas mediante la tecnología "Fiber Placement" solo se diferencia de la fabricación mediante laminado manual en la propia operación de laminado y en el formato de material de partida. El resto del proceso es prácticamente el mismo (realización de bolsa de vacío, curado en autoclave, desmoldeo, mecanizado, etc.).

Se basa en una máquina comandada por control numérico con un interfaz directo con el sistema CAD/CAM, que permite transferir directamente el modelo de diseño de la pieza a fabricar en CATIA V5.

Esta máquina permite depositar material sobre la superficie de un mandril giratorio (útil). La máquina dispone de un cabezal que suministra y compacta el material y un almacén frigorífico que mantiene el material en las condiciones necesarias para el trabajo.

El punto y contrapunto son los extremos sobre los que se monta el útil. El contrapunto tiene la posibilidad de desplazarse linealmente, por lo que existe la posibilidad de montar útiles de diferentes dimensiones cada vez. El punto es fijo.

La máquina completa consta de dos estaciones como la que se ve en la figura, que comparten cabezal. Por ello, mientras en una estación se realizan operaciones manuales durante las cuales la máquina no puede laminar, el cabezal puede cambiar de estación y seguir produciendo en la segunda estación.

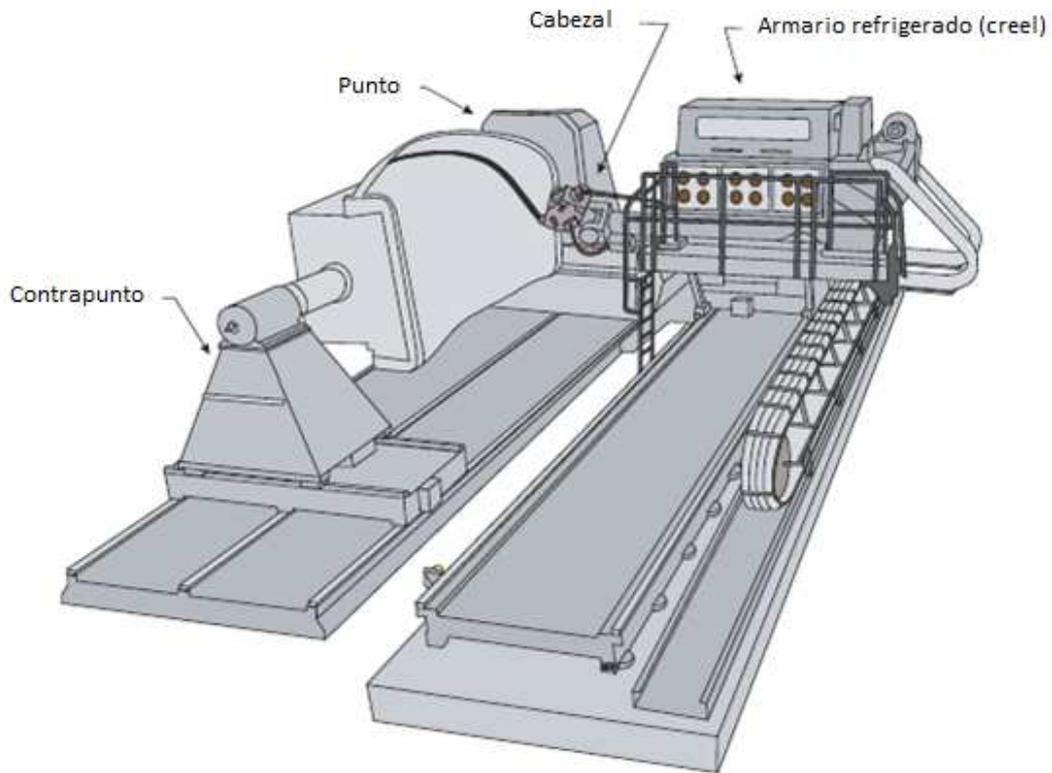


Fig. 65. Esquema de la máquina F.P.

El diseño de la máquina permite combinar el proceso de laminado automático con procesos manuales por lo que se pueden añadir refuerzos de tejido o núcleos para la fabricación de estructuras tipo sándwich.

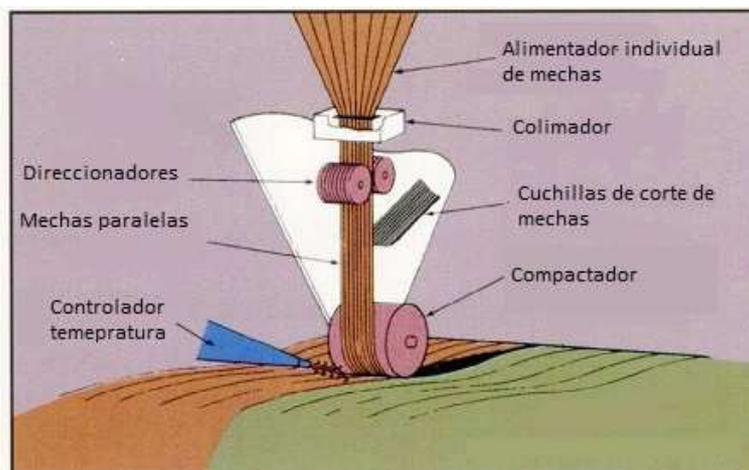


Fig. 66. Esquema del cabezal de la máquina.

Deposita hasta 32 tiras paralelas de material (como se aprecia en la siguiente imagen), cantidad que puede modificarse por programación, variando por lo tanto el ancho total de la banda para permitir su adaptación a geometrías complejas.



Fig. 67. Detalle del cabezal de la máquina.

Las capas de cinta se colocan sobre el mandril y son compactadas inmediatamente mediante el rodillo compactador del cabezal que aplica directamente la presión necesaria para ello. La presión de compactación es siempre normal a la superficie y se controla por programación.



Fig. 68. Rodillo compactador.

Este proceso está pensado para piezas con formas cerradas (o que se pueden apilar sobre porciones de superficies cerradas), no necesariamente de revolución, admitiendo formas complejas. El aprovechamiento de material es mejor cuanto mayor es la dimensión de la pieza.



Fig. 69. Ejemplo de máquina F.P. laminando una piel.

Como ya se ha visto anteriormente, el mandril es un útil PEFP (útil de encintado automático), pero para curar la pieza una vez que se ha finalizado su laminado en la máquina, hay que desmoldear y pasar la pieza a un útil PEAU (curado en autoclave), que tiene forma de "U".

La tecnología "*Fiber Placement*" requiere de personal (tanto técnicos como operarios) con un alto nivel de cualificación tanto en las etapas de diseño y cálculo como en la etapa de fabricación.

Es una tecnología que presenta varias ventajas frente al laminado manual. Por ejemplo, permite la fabricación de piezas grandes y complejas (como es el caso de la fabricación de las pieles que veremos con detenimiento posteriormente); se evita la realización de la bolsa de vacío y la compactación ya que la realiza el rodillo automáticamente; el proceso de colocación de capas es más fiable (se evita el fallo humano)...

La única desventaja que presenta es la elevada inversión a realizar para adquirir el equipo.

3.3.4.1. Generación del modelo CATIA

Para poder trabajar con el software de programación de la máquina de "Fiber Placement", es necesario suministrar al sistema ciertos datos indispensables, tales como la geometría del útil de encintado, la geometría de las capas a laminar, datos de alineamiento, etc.

La forma de hacerlo es mediante un modelo CATIA especialmente preparado para ello. Una vez preparado el modelo, la misma máquina se encarga de convertir la información contenida en dicho modelo a un formato reconocible por el software de programación.

3.3.4.2. Requisitos de utillaje

Ya se ha hablado de los distintos tipos de utillaje que son necesarios para la fabricación en F.P., el PEFP y el PEAU. Los trabajos principales a realizar con estos útiles son dos:

Posicionado de fibra (PEFP). La superficie del útil o mandril debe coincidir con la superficie interior de la pieza. Una vez montado entre el punto y el contrapunto de la máquina, el cabezal automático irá colocando las tiras de material según un programa de control numérico.

Si se está haciendo una pieza de tipo sándwich, entre ciertas capas habrá que colocar el núcleo. Debido a que el cabezal de la máquina podría estrujar el núcleo al compactar, es necesario realizar una bolsa de compactación sobre el útil, sin desmontar éste de la máquina, con el objetivo de que el núcleo quede compactado y bien adherido al laminado.

Curado de piezas (PEAU). Una vez realizado el apilado, éste puede curarse en el mismo útil o transferirse a un útil distinto. La elección entre uno u otro sistema depende de varios factores, tales como el tipo de pieza a hacer o la dificultad del proceso. En nuestro caso, no se utiliza el mismo útil, por lo que una vez laminada la piel hay que pasarla al PEAU para el posterior curado y cerrar en este útil la bolsa de curado final.

En la maquina, por poseer 2 estaciones, puede haber montados 2 PEFP'S a la vez. El sistema de amarre del útil con la máquina consiste en lo siguiente:

A. Punto motorizado:

El punto, que es fijo, está equipado con una placa taladrada, con dos líneas de amarre. Puede utilizarse cualquiera de las dos líneas de taladros en función del tamaño del útil a amarrar. En el útil basta con prever una línea de taladros, que permita el paso de los tornillos de amarre.

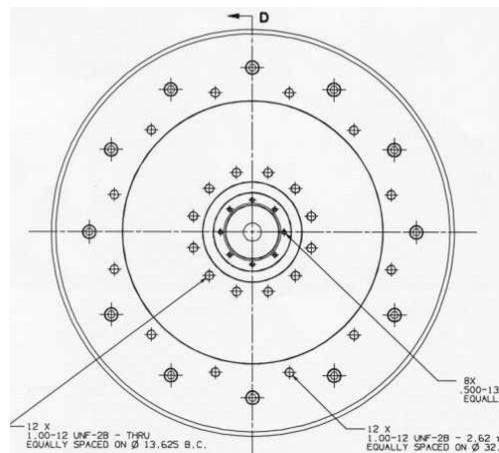


Fig. 70. Interfaz del punto motorizado.

B. Contrapunto:

El otro extremo del útil se sujeta mediante un contrapunto de giro libre, por lo que el único elemento que ejerce momentos de giro sobre el útil es el punto motorizado.

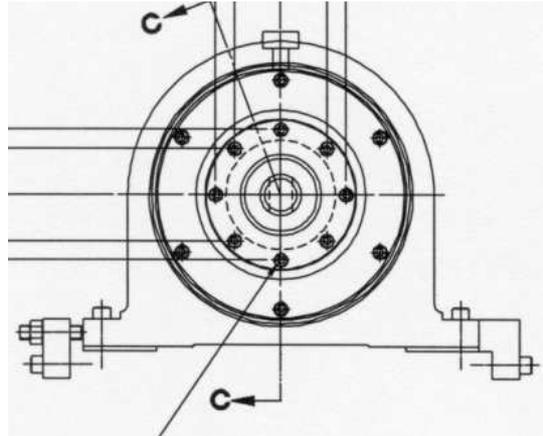


Fig. 71. Interfaz del contrapunto.

Por otra parte, para asegurar la posibilidad de montaje del útil en cualquiera de las dos posiciones, el fabricante recomienda la fabricación de una pieza desmontable de forma que los extremos del útil puedan intercambiarse entre punto y contrapunto.

El útil estará dotado de elementos que faciliten su manejo con puente grúa (cáncamos de izado) para los momentos en los que haya que moverlo, montarlo, desmontarlo...



Fig. 72. Ejemplo de útil en maquina.

En la anterior imagen podemos observar:

- A. Punto motorizado, en el que se observan las 2 líneas de amarre.
- B. Contrapunto, con una única línea de amarre.
- C. Parte desmontable que posibilita el intercambio de los extremos del útil.
- D. Elementos que permiten manejar el útil con el puente grúa.

En la imagen se observa que el mandril está envuelto en una bolsa de vacío con bolsa corrugada que no se ha desprendido del útil tras la última ejecución puesto que es posible reusarla.

También es necesario un sistema que permita sujetar el útil cuando se encuentre en reposo fuera de la máquina (llamado SPOO).



Fig. 73. Ejemplo de SPOO para soporte de PEAU de pieles.

En general, siempre debe optarse por útiles de extremos simétricos, ya que esto evita necesitar 2 programas para la misma pieza (uno para cada estación) y se facilita también la instalación del útil en la máquina.

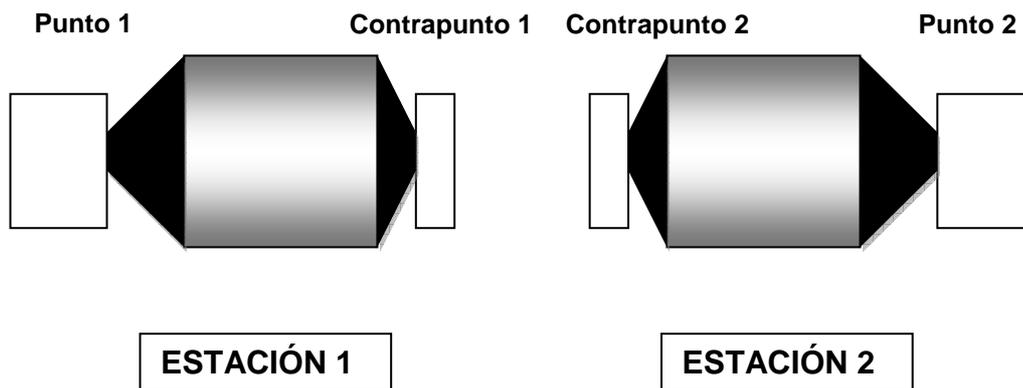


Fig. 74. Útil de extremos no simétricos.

Como se ve en la figura anterior el útil tiene cada extremo con una longitud distinta, lo que hace que haya que girarlo para adaptarlo a las posiciones del punto y contrapunto de cada estación. Esto obliga a duplicar entonces los programas para P.F. (uno normal y el otro simétrico), pues la máquina no es capaz de gestionar una rotación de la pieza.

Como se observa en la figura siguiente, si el útil tiene sus extremos simétricos, es posible usar el mismo modelo se coloque el PEFP en cualquiera de las 2 estaciones.

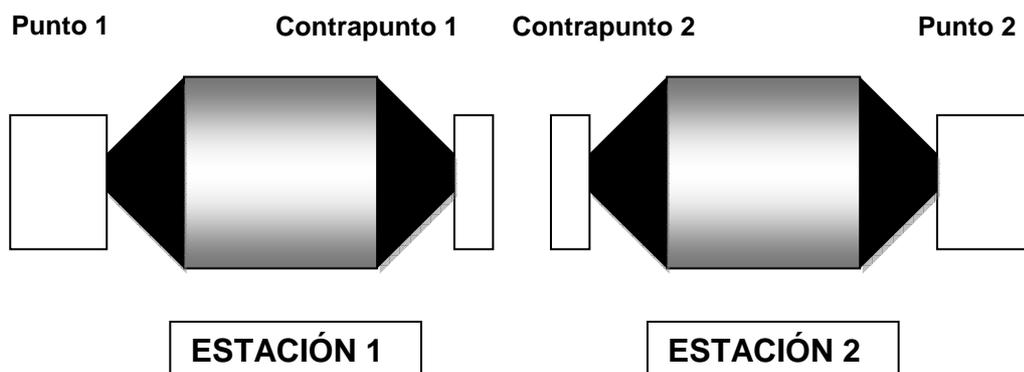


Fig. 75. Útil de extremos simétricos.

3.3.4.3. Materiales

Los materiales preimpregnados a emplear durante el proceso de fabricación por posicionado automático de Fibras son los mismos que los

utilizados en la fabricación manual con materiales unidireccionales (cinta), pero con distinto formato.

Se usa el llamado "*Slit Tape*". Son tiras de material preimpregnado, resultantes de cortar cinta unidireccional en anchos sucesivamente menores hasta llegar a tiras de unos 3 mm.



Fig. 76. Bobina de preimpregnado.

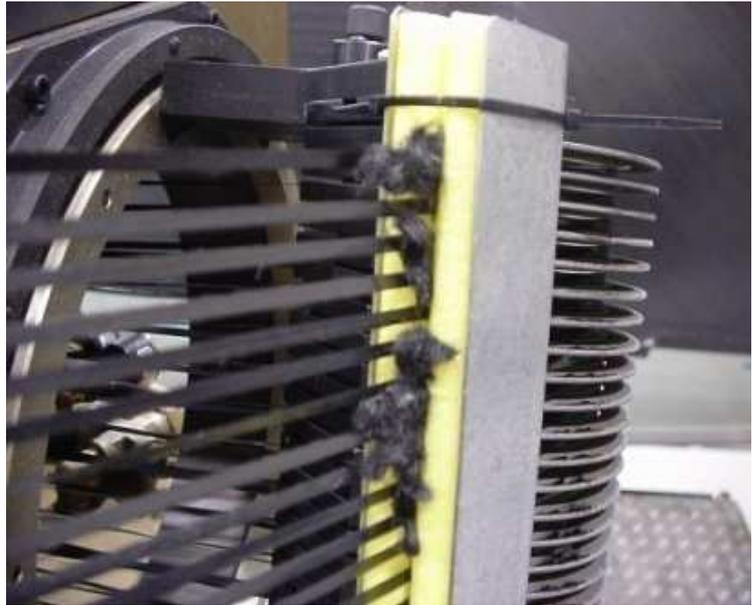


Fig. 77. Slit Tape enhebrado en cabezal.

3.3.4.4. Documentos generados tras el laminado

Durante la ejecución de cada pieza, el control de la máquina registra todos los eventos que ocurren. Una vez completada la pieza, estos registros pueden ser procesados y servirán de histórico de la fabricación.

El control registra todos los eventos producidos durante la fabricación. De ello se encarga un programa llamado "*Observer*", el cual genera en tiempo real una serie de archivos de registro, conocidos como "*Part History*".

En esos archivos se reflejan datos del material, del operario que ha fabricado la pieza, fechas y tiempos de ejecución, y lo más importante para el objeto de este proyecto, todas las paradas ocurridas, tiempos de las mismas y

las causas. Esas paradas aparecen agrupadas bajo una serie de categorías, lo que facilita el estudio de los problemas y sus causas.

3.3.4.5. Probetas de control de proceso

En algunas ocasiones, por diseño del elemento, hay que fabricar una probeta de control de. Esta probeta será fabricada de la misma manera que la pieza a la que valida, con el mismo material (mismo rollo, mismo lote...) y será curada en el mismo ciclo de autoclave.

Una vez fabricada, la probeta se ensaya según la normativa aplicable y dependiendo de los resultados obtenidos, la pieza fabricada junto con la probeta será válida o no.

Si es una pieza laminada mediante encintado automático la que requiere de un panel de control de proceso, se empleará un útil plano montado en otra estación de la máquina, ya que como hemos dicho, el panel debe estar fabricado de la misma forma que la pieza y con el mismo material.

Es decir, a la vez que se lamina la pieza, en la otra estación de la máquina, habrá que cargar el programa correspondiente, cambiar la máquina de estación, y proceder con la ejecución del programa de la probeta.

3.3.5. Ciclo de curado o polimerización

El ciclo de curado es la etapa más importante dentro del método de fabricación por "moldeo en autoclave". De esta fase del proceso dependerá la calidad de la pieza fabricada.

En esta etapa se da la polimerización de la resina de los preimpregnados. Se entrecruzan los grupos químicos de la misma, de forma irreversible para resinas termoestables y de forma reversible para resinas termoplásticas.

Son la presión, el tiempo y la temperatura los parámetros que definen el ciclo de curado. Estos parámetros dependerán básicamente del tipo de resina, y para cada material se combinan de distinta manera. En la documentación de trabajo vendrá indicado

El curado se realiza en un horno llamado "autoclave". Es éste el que aporta calor y presión y permite controlar estos parámetros durante todo el ciclo.



Fig. 78. Autoclave

Todos los ciclos de curado siguen los mismos pasos:

- **Rampa de subida.** Es la etapa durante la cual la temperatura está subiendo, también llamada etapa de calentamiento.
- **Polimerización.** Es un tiempo durante el que la temperatura se mantiene constante mientras se está dando la polimerización de la resina del material. Es la etapa más importante del ciclo. Si existe

alguna entrada de presión en ella, la pieza será desechada. También se denomina etapa de estabilización.

- **Rampa de bajada.** También llamada etapa de enfriamiento. En ella la temperatura baja desde la temperatura de polimerización hasta casi la temperatura ambiente.

En el gráfico siguiente se observan las 3 etapas.

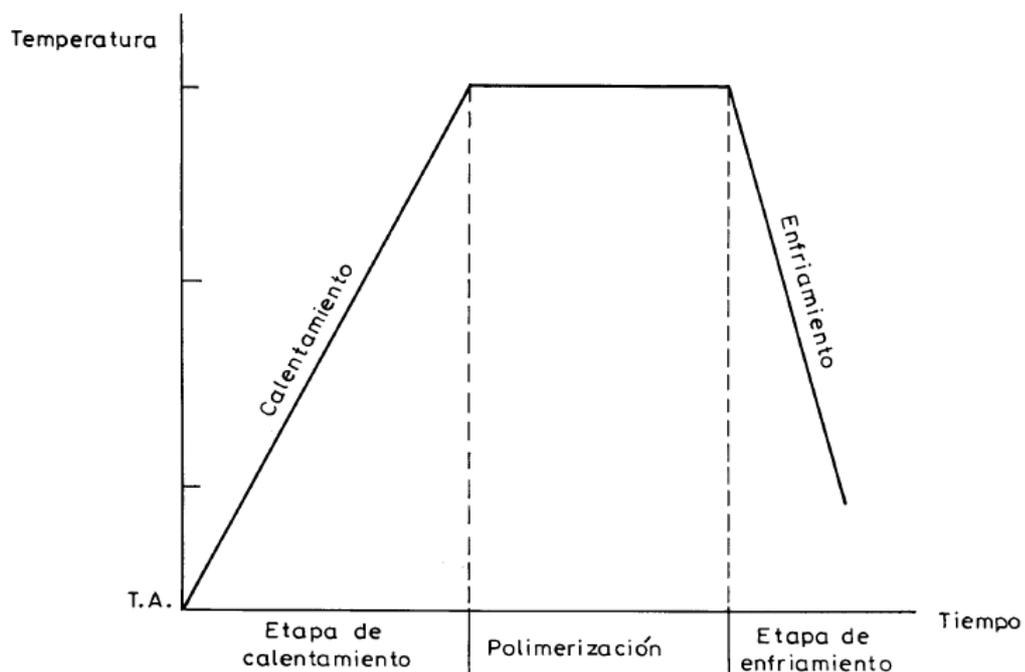


Fig. 79. Esquema general de un ciclo de curado

3.3.5.1. Presión

De la presión ejercida durante el ciclo depende la distribución de la resina en toda la pieza y la compactación entre las capas.

Varía entre 1 y 10 bares, siempre teniendo en cuenta que para laminados sándwich ésta no debe superar los 3 bares y para monolíticos puede aplicarse una presión mayor.

Además del valor de presión, el momento en que ésta actúa es de vital importancia para las propiedades finales de la pieza.

Es especialmente importante el punto de aplicación de la presión, en función de las características de la resina. Si la presión es aplicada siendo la viscosidad de la resina muy baja puede hacer que la resina se escape a través del separador de la bolsa dando lugar a porosidades y faltas de resina en el laminado. Por el contrario, si la presión se aplica cuando la resina está muy viscosa no permitirá la buena compactación del apilado.

3.3.5.2. Temperatura

La temperatura de polimerización, que es la que mantiene el autoclave en la etapa de estabilización es aquella a la que los componentes de la resina reaccionan y se entrecruzan, lo que se llama polimerización de la resina.

Es distinta para cada tipo de material, y depende principalmente de la resina (no tanto de la fibra). Normalmente en la mayoría de ciclos usados a nivel industrial con resinas epoxis o fenólicas la temperatura de estabilización se mueve entre los 120 ° C y los 180 ° C.

3.3.5.3. Tiempo

Por un lado está el tiempo de polimerización, que es el tiempo que dura la etapa de estabilización, es decir, el tiempo durante el que se mantiene la temperatura de polimerización. Este tiempo es el que nos asegure que la reacción de polimerización se ha dado completamente. Varía normalmente entre los 90 minutos y los 240 minutos.

Por otro lado está el tiempo de calentamiento que también es importante, porque con él se define la velocidad de subida de temperatura, que es otro parámetro importante y a controlar en la etapa de calentamiento. De la misma manera, la velocidad de enfriamiento también viene definida y debe

controlarse, por lo que el tiempo de enfriamiento es otro parámetro a tener en cuenta.

Todos los parámetros que rigen el ciclo de curado deberán estar monitorizados y registrados durante todo el ciclo.

3.4. PROCESO DE FABRICACIÓN MEDIANTE TECNOLOGÍA "FIBER PLACEMENT"

En el área de materiales compuestos de la empresa objeto de este proyecto se fabrican distintas piezas de este material para diversos programas aeronáuticos (A380-TRENT900; A380-GP7200; A340-500/600, A330 MRTT, A400M...).

Primordialmente son composites de fibra de carbono que tienen como destino la industria aeronáutica. Algunas de estas piezas se fabrican mediante laminado automático, otras se laminan totalmente de forma manual y algunas combinan ambos procesos de fabricación.

Nos centraremos en las piezas dentro de cuyos procesos productivos interviene la máquina de encintado automático (F.P.), por ser este el área objeto de este proyecto. Las piezas fabricadas mediante laminado manual, fueron objeto de proyectos lean aplicados en años anteriores.

Las piezas más importantes fabricadas en esta planta mediante el encintado automático de fibras son:

1) "FAN-COWLS" (FC).

Son los capós o revestimientos de los motores para los programas A340 y A380. Cada uno de estos aviones posee 4 motores, 2 destinados a la parte izquierda y los otros 2 a la parte derecha. Cada revestimiento, a su vez, está formado por 2 capós (uno izquierdo y uno derecho).

Por tanto, por cada avión que haya que fabricar, hay que laminar 8 FC. Los elementos individuales son las llamadas "elementales" que una vez integradas forman la parte final o "conjunto". El proceso de fabricación de los capós se divide en dos partes. La máquina solo interviene en la primera, que es

la fabricación de la piel (la cual es la minada por la máquina F.P.). La segunda parte consiste en integrar a la piel los rigidizadores transversales y longitudinales mediante un encolado secundario.

En el diagrama de flujo del proceso de fabricación de los revestimientos de los motores se observa que solo hay una pequeña parte del proceso donde intervienen la máquina (la rodeada por la línea roja).

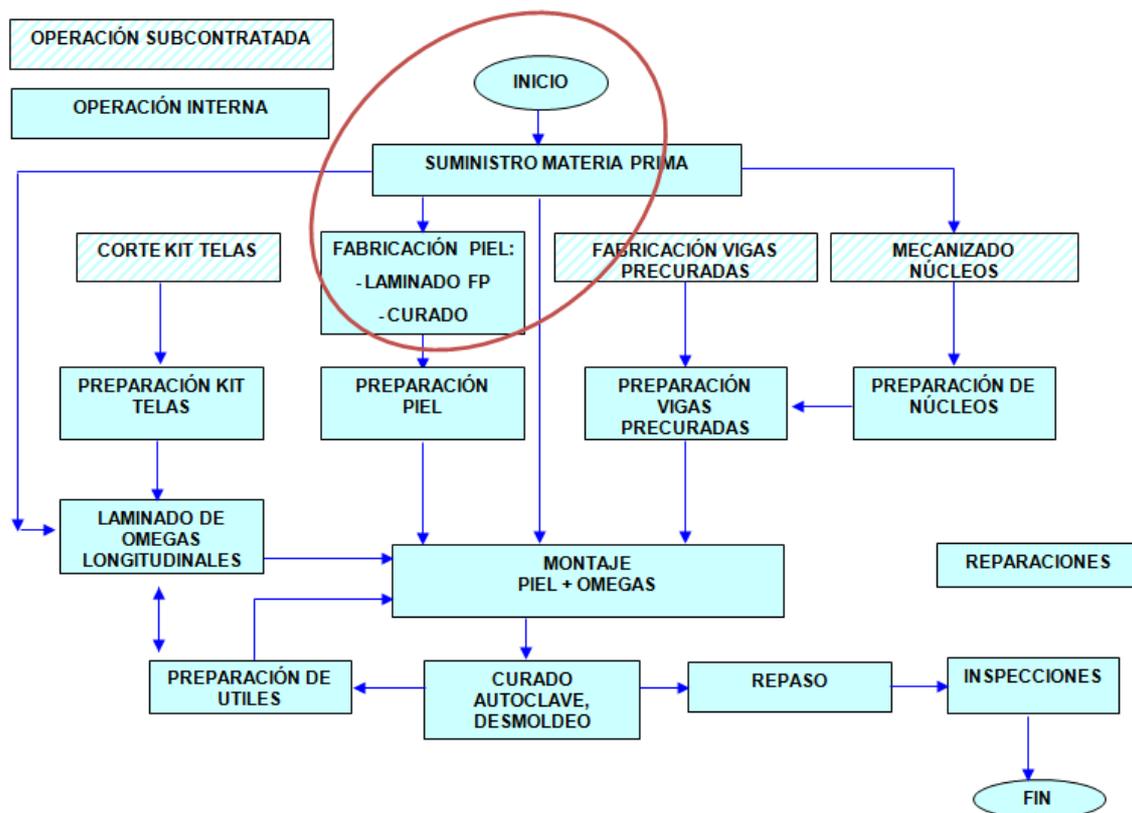


Fig. 80. Diagrama de flujo fabricación "Fan-Cowls"

En la siguiente imagen se muestra un capó del A340 (el más pequeño) y uno del A380.



Fig.81. Capós terminados para A340 y A380.

2) "FLAP SUPPORT FAIRING" (FSF).

Estas piezas son carenas para las alas del A400M.

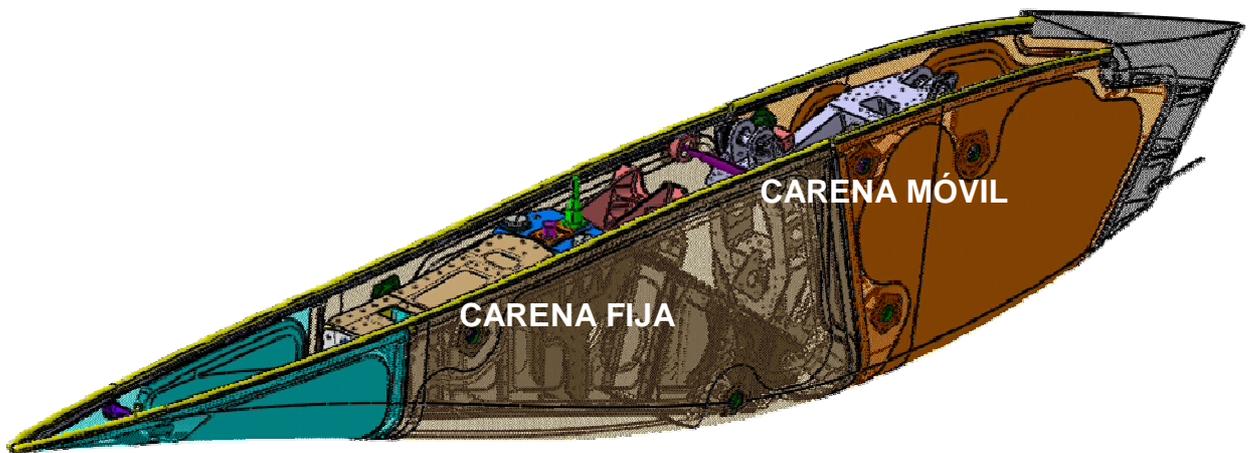


Fig. 82. Carenas A400M.

Cada avión requiere de la fabricación de 8 carenas, 4 carenas fijas y 4 carenas móviles. Esas carenas fijas y móviles se mecanizarán para obtener la mitad para la parte derecha del avión y la otra mitad para parte izquierda. En resumen, por cada pedido de A400M hay que fabricar 2 carenas fijas izquierdas, 2 carenas móviles izquierdas, 2 carenas fijas derechas y 2 carenas

móviles izquierdas. Por ello, para cada avión a fabricar hay que ejecutar 2 veces el laminado automático del PEAU, ya que de cada laminado se obtienen 4 carenas.

El proceso de fabricación de estas piezas se divide en 2 partes. La primera etapa finaliza tras el curado de las piezas laminadas mediante F.P. Se presenta a continuación el diagrama de flujo de esta primera parte del proceso de producción de las FSF.

Es esta primera parte del proceso en la que nos centraremos por ser el objetivo de estudio de este proyecto.

A continuación se muestra el diagrama de flujo de esta parte del proceso y un ejemplo de carena obtenida tras este proceso.

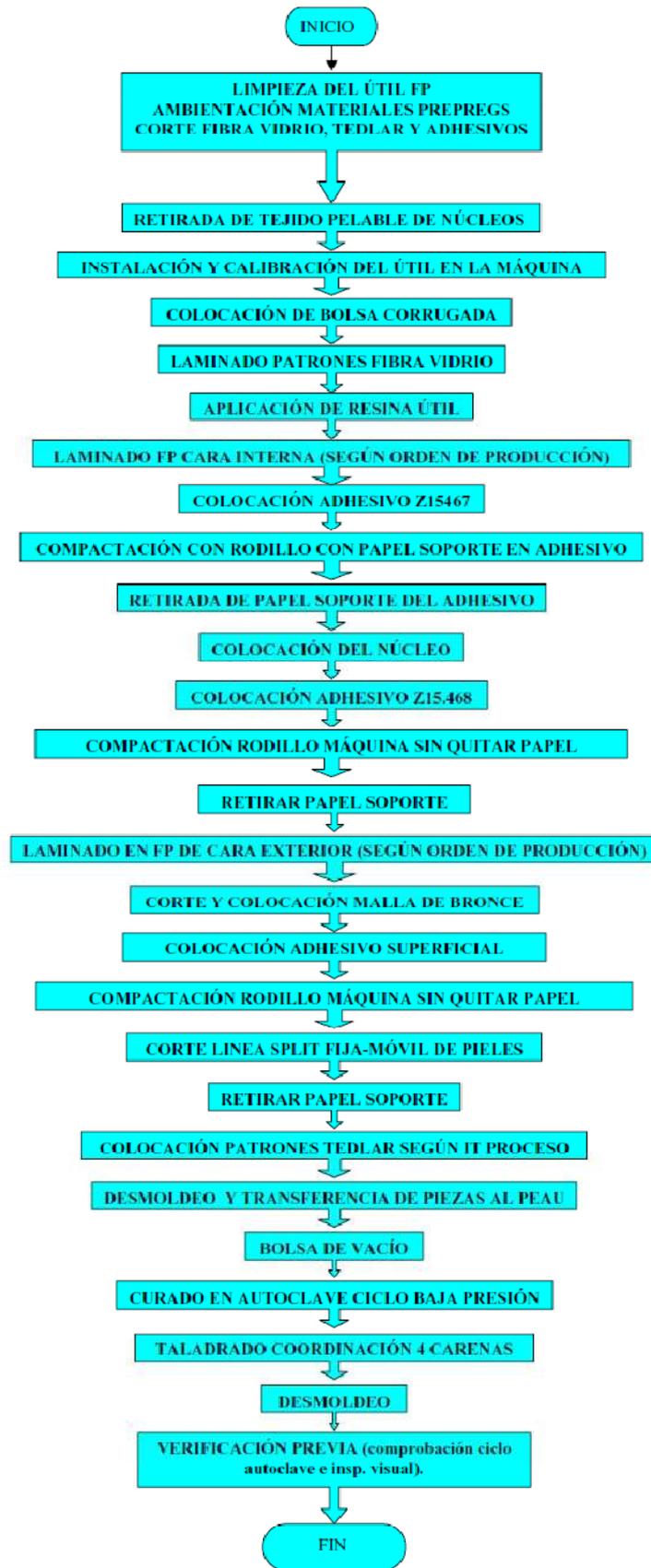


Fig. 83. Diagrama de flujo 1ª parte fabricación FSF

Una vez se han curado y desmoldeado estas carenas, se pasa a la segunda parte del proceso, donde la operación más importante es el recateo de las mismas, obteniéndose, según la forma en que se haga el proceso, carena izquierda o derecha. En la imagen que sigue se observa el diagrama de flujo de esta última parte del proceso de fabricación.

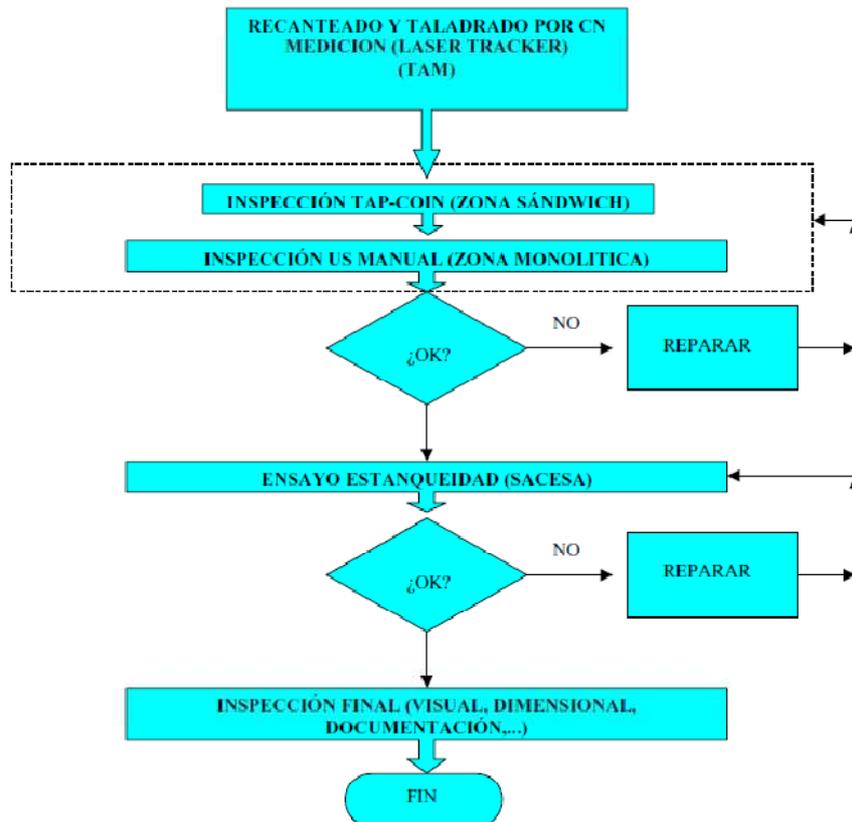


Fig. 84. Diagrama de flujo 2ª parte fabricación FSF

Además de estas dos piezas, la máquina F.P. también está destinada a la realización de ensayos o pruebas para piezas que se encuentran en fase de diseño.

El presente proyecto tiene como objetivo optimizar el proceso de producción mediante la tecnología "Fiber Placement". Por otro lado, el área de materiales compuestos de la planta donde se desarrolla el proyecto fabrica

varias piezas mediante este método, pero nos centraremos en una de ellas para exponer el proceso productivo de forma detallada.

La parte del proceso de fabricación de las carenas del A400M en la que interviene la máquina es el más completo de los que se realizan en la zona de materiales compuestos. Por esto, dedicaremos este capítulo al análisis del proceso de producción estas piezas. En concreto nos centraremos en la primera parte de la producción de este tipo de piezas, es decir, en el proceso de laminado mediante F.P.

El laminado automático del resto de piezas fabricadas en la empresa objeto del proyecto sigue el mismo proceso, excepto algunos pasos concretos del laminado, pero el resto de etapas son exactamente iguales.

Este análisis es fundamental para determinar el estado del proceso general, es decir, aunque se describa el proceso mediante la fabricación de un tipo de pieza, podremos extrapolar el estudio a todas las piezas laminadas con la máquina y nos servirá de referencia para las propuestas de mejora posteriores.

La filosofía Lean no se limita a considerar solo el proceso de fabricación propiamente dicho. Debe actuar sobre la cadena de valor del producto, por lo que el proceso debe ser considerado como tal desde el momento en que el cliente se pone en contacto con la empresa hasta el momento de la entrega. Es este recorrido al completo donde se producirán los desperdicios y también las acciones de mejora.

Es por esto que no nos centraremos únicamente en las operaciones en las que interviene la máquina de encintado automático, sino que estudiaremos las operaciones anteriores y posteriores al laminado.

A continuación se exponen todas las etapas de fabricación de forma detallada.

3.4.1. Recepción y almacenaje de materiales

El primer paso en el proceso de fabricación de las piezas realizadas mediante la tecnología "Fiber Placement" comienza con la recepción de los materiales necesarios (materia prima y materiales auxiliares).

Existen en la planta diferentes zonas de recepción dependiendo del tipo de material. Por un lado está la cámara frigorífica, donde se almacenan los materiales que requieren temperaturas bajas de almacenamiento (preimpregnados). Por otro lado están los almacenes de la nave (fuera de la cámara) para los materiales que pueden almacenarse a temperatura ambiente como los núcleos, los materiales auxiliares para la bolsa...

Al recepcionar los materiales hay que verificarlos y comprobar que llevan la documentación exigida según la normativa (identificación, certificado de conformidad, datos de tiempos de vida, albarán...).

El material preimpregnado se almacenará a -18°C máximo, en bolsas de polietileno selladas. No deben apilarse rollos y cajas y debe evitarse colocaciones incorrectas que puedan dañar al material. En el caso de las bobinas de "Slip Tape", éstas pueden almacenarse en el armario refrigerado de la máquina (de 3 a 7°C) momentos antes del laminado.

Todos los materiales que tengan vida limitada deben encontrarse dentro de su vida útil para poder usarlos en la fabricación. Por ello es necesario tener controlados los tiempos de vida estos materiales, lo cual se consigue con las "Ficha de Identificación de Material".

El resto de materiales, necesiten o no almacenamiento en cámara frigorífica, siempre que vayan a ponerse en contacto directo con el "prepreg" deben estar guardados en bolsas de polietileno selladas y deben ser manipulados con guantes para evitar cualquier contaminación de preimpregnado.



Fig. 85. Entrada a cámara frigorífica desde la Sala Limpia

3.4.2. Ambientación del material

Cuando el material va a ser utilizado hay que sacarlo de la cámara frigorífica y trasladarlo a la sala limpia para ambientarlo. Antes de poder utilizarlo debe permanecer durante el llamado "tiempo de atemperamiento" en una zona de la sala limpia destinada a esta operación que consiste en que el material adquiera la temperatura de trabajo de la sala limpia. Este tiempo oscila entre 4 y 8 horas, dependiendo del material y de la cantidad del mismo.

Durante la ambientación el material no debe, en ningún caso, sacarse de su envoltorio de polietileno hasta que no se observen condensaciones en el exterior de la bolsa sellada. Los materiales que presenten roturas de las bolsas o mal cierre de las mismas tienen riesgos de entrada de humedad, por lo que serán rechazados y no podrán usarse para la fabricación.

En el caso de las bobinas de preimpregnado para la máquina, durante el ambientado de las mismas es conveniente que queden apoyadas sobre un extremo cuando se depositen sobre cualquier superficie para evitar dañar el material.

En el momento en que el material se saca de la cámara hay que registrar la fecha y hora de salida en la "Ficha de Identificación" (esta operación también se hace cuando el material vuelve a almacenarse en la cámara) para así tener controlado el tiempo de vida restante de ese material. Si no se recogen esos datos el material se tendrá que considerar inútil, ya no que se sabrá si está dentro de su vida útil o no.

Como se ve en la imagen siguiente, en la ficha queda perfectamente identificado el material con su nombre, número de lote y rollo... En la parte de abajo se observa como quedan recogidas las fechas y horas de entrada y salida a la cámara y las horas restantes de exposición del material calculadas a partir del tiempo que ha estado fuera de la cámara.

ROLLOS				
Hexply 8552S/375/AGP280/C				
Z19732	AIMS-05-01-004			ROLLO Nº 13
Descripción:	TEJIDO FIBRA CARBONO			
Nº lote :	57548			
Fecha caducidad :	02/09/2006			
Fecha entrada	Hora entrada	H. Exp. Restante	Fecha Salida	Hora Salida
04/11/2005	11:30	238	28/12/2005	8:40
28/12/2005	13:00	233	04/01/2006	19:15
05/01/2006	9:50	218		

Fig. 86. Hoja de Identificación de Materiales

3.4.3. Corte de y preparación de kits de telas

En el caso del laminado manual, la materia prima (preimpregnados, adhesivos, etc.) una vez sacada de los frigoríficos y ambientada, se corta en patrones siguiendo unas instrucciones determinadas y respetando las orientaciones requeridas en los planos.

En el caso del laminado automático, el preimpregnado no se corta previamente, ya que es el propio cabezal de la máquina el que corta las mechas de forma automática. Aún así, hay materiales que debido al diseño de la pieza hay que aplicar manualmente y sí que es necesario cortar, como adhesivos, pelables...En el caso de las FSF hay que cortar fibra de vidrio, adhesivos, malla de bronce y tedlar.

Estos materiales se cortan previamente a su uso y se unen formando un "Kit de telas". Para realizar la operación de corte el operario recurre a determinada documentación de trabajo, como es la "Orden de Producción" y el "Libro de Lay-Up".

En el primer documento nombrado se recoge el tipo de material a cortar e incluso el rollo concreto que debe usarse. En el libro se consultan las dimensiones y orientaciones de los patrones que formarán el kit.

El primer paso es sacar el material de la nevera, y para ello es necesario que el operario utilice la ropa adecuada (chaqueta impermeable tipo anorak y pantalones del mismo material). Es una operación que debe hacerse rápido, por la temperatura del interior de la cámara y porque la puerta de la nevera debe permanecer abierta el mínimo tiempo posible. Por ello, la cámara frigorífica debe estar ordenada y tener un mapa en la puerta de forma que no haya que buscar, que todo esté localizado.

Una vez que los materiales están atemperados, se colocan en portarrollos y se posicionan (siempre manipulándolos con guantes) sobre la mesa de corte. Hay que revisar que el material no presente imperfecciones ya que en ese caso debe rechazarse.



Fig. 87. Rollo de tejido sobre mesa de corte

Una vez el rollo está colocado en la mesa de corte y las herramientas preparadas se cortan las telas. Todos los patrones cortados deben estar perfectamente identificados



Fig. 88. Herramienta para la medición y corte de patrones.

Después se identifica cada tela que haya sido cortada con el número de orden de producción, el número del patrón correspondiente y la orientación de la tela.

Todos los patrones cortados se introducen en una bolsa de polietileno que se termosella para su posterior entrada en cámara frigorífica. El kit debe estar perfectamente identificado con el número de orden de producción y la "Hoja de control de kit". En esta hoja se recogen 2 datos muy importantes, sin los cuales el kit se considera inútil:

- 1) Identificación de cada uno de los materiales que componen el kit (lote, rollo, albarán, fecha de caducidad...)
- 2) Horas de exposición que le quedan a cada material del kit y la fecha y hora en la que es sacado de la cámara. Con estos datos se calcula la fecha y hora en la que hay que cerrar la bolsa de vacío para que el kit no se caduque ni consuma todas las horas. Si el kit está compuesto por distintos materiales, y cada uno de ellos tiene una "Tiempo de vida" diferente, será el material que tenga menos horas restantes de exposición el que limite la fecha de realización de la bolsa de vacío para que ningún material caduque durante el proceso de laminado.

Al observar el ejemplo de ficha de la imagen siguiente se observa que existen varios campos reservados para "sello de producción". La trazabilidad del proceso incluye también conocer el operario que ha efectuado cada una de las operaciones lo que se consigue mediante un sello personal de cada trabajador con el que sella cada operación que realiza, entre ellas la preparación del kit y el cálculo de la fecha y hora máxima del cierre de la bolsa.

El kit, una vez que vaya a ser usado, debe atemperar de la forma descrita en el punto anterior.

FICHA DE CONTROL DE KIT								
PN:		F541-21019-000		DESIGNACIÓN:		CONJUNTO PANEL DERECHO		N° CONTROL:
REF.:		1136361		N. SERIE:		208		
P KIT		N° KIT		Horas exposición restantes	Fecha caducidad	SALIDA DE CAMARA FRIGORIFICA		
						Fecha	Hora	SELLO PRODUCCIÓN
F541-21019-000K01		A4605306AL		200	17/01/2006	12/12/2005	7:05	
OTROS MATERIALES								
Z MATERIAL	CONCEPTO	N° ROLLO	N° ALBARAN LOTE FABRICANTE.	Horas exposición restantes	Fecha caducidad	SALIDA DE CAMARA FRIGORIFICA		
						Fecha	Hora	SELLO PRODUCCIÓN
Z-15407	Adhesivo film	3B	149567A	1998	13/03/2006	05/12/2005	22:00	
Z-19732	Tejido FC	12	57548	208	04/11/2006	13/12/2005	8:05	
Z-15407	Adhesivo film	2	149114A	1998	06/03/2006	05/12/2005	22:00	
MATERIALES UTILIZADOS (HORAS EXPOSICIÓN / CADUCIDAD MAS DESFAVORABLES).								
				Horas exposición restantes	Fecha caducidad	CERRAR BOLSA DE VACIO ANTES DE		
						Fecha	Hora	SELLO PRODUCCIÓN
				200	17/01/2006	20/12/2005	7:05	

Fig. 89. Ficha de control de kit

3.4.4. Preparación de núcleos

Los núcleos vienen del proveedor con las dimensiones necesarias, pero antes de su uso hay que limpiarlos mediante soplado (con aire a presión) y si no se van a utilizar inmediatamente, se almacena en bolsas selladas hasta su uso, para evitar cualquier tipo de contaminación del mismo.

En algunos casos, como el que nos ocupa, el núcleo viene con tejido pelable en ambas caras (como se observa en la imagen posterior), para evitar la suciedad. En este caso, hay que eliminar el pelable, y seguir los pasos comentados anteriormente.

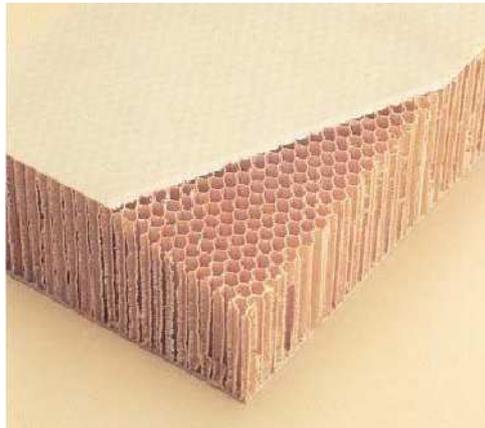


Fig. 90. Núcleo de panal de abeja

3.4.5. Instalación y calibración del utillaje PEFP en la máquina

La máquina F.P. lamina diferentes piezas, y en cada caso el útil instalado en la misma es distinto. Por ello, cada vez que se pasa de fabricar una pieza a otra hay que quitar el útil que está puesto (útil 1), colocar el útil necesario para la nueva pieza (útil 2) y calibrar la máquina con los datos del nuevo modelo. Todos los movimientos del útil se realizarán mediante el uso de puente grúa, utilizando eslingas homologadas.



Fig.91. Puente grúa.

Una vez que ha finalizado la fabricación de una pieza se avisa de la necesidad del cambio de útil. En ese momento hay que asegurarse, haciendo uso de un "checklist", que se tiene todo lo necesario para proceder al cambio de útil (grúa, carretilla elevadora, SPOO, herramientas...). Los pasos a seguir son los siguientes:

3.4.5.1. Adecuar la zona

En primer lugar hay que eliminar las vallas de protección situadas alrededor de la máquina y despejar la zona de transferencia de utillaje para facilitar el movimiento de ambos útiles con el puente grúa y el movimiento de los operarios.

Además es necesario girar el útil 1 hasta colocarlo de la forma más cómoda para poder colocar las eslingas (posición de carga).

3.4.5.2. Retirar útil ejecución anterior

Estando aún amarrado el útil 1 en la máquina, se procede a eslingarlo y a tensar las eslingas. Una vez asegurado el útil con el puente grúa, se

desatornilla el punto. Entonces se saca el pasador del husillo del contrapunto y se desplaza éste hacia fuera para permitir sacar el útil 1.



Fig. 92. Útil 1 en posición eslingado en posición de carga.

Estando ya el útil 1 soportado únicamente por las eslingas del puente grúa se procede a colocarlo en su SPOO para llevarlo a la zona de almacenaje de PEFP.

3.4.5.3. Acercar útil a montar

Una vez que el útil 1 está en su sitio, se eslinga el útil 2 y se acerca a la máquina en la que va a ser colocado.

3.4.5.4. Dar valores de alineamiento

Los programas para la máquina F.P. se generan respecto a unos ejes definidos para el útil colocado en máquina. Por otro lado, la máquina se mueve en la realidad respecto a unos ejes fijos, independientemente del útil instalado.

Es necesario por tanto establecer la relación entre los ejes de diseño y los ejes de máquina y para ello hay que darle a la máquina las llamadas "cotas de alineamiento". Con ellas el programa de la máquina entiende la posición en la que está el útil. Una vez introducidos esos datos se está en disposición de colocar el útil 2 en la maquina.

3.4.5.5. Colocar útil en punto

Lo primero que se hace es amarrar el punto, que es la parte fija. Manipulando el puente grúa, se acerca el útil 2 a la estación en la que va a ser montado, y se alinea la placa taladrada del punto con la del útil y se aprietan los tornillos manualmente.



Fig.93. Apriete manual de tornillos en punto.

3.4.5.6. Colocar contrapunto



Fig. 94. El contrapunto de acerca al útil 2

La parte del contrapunto hay que acercarla al útil 2. Para ello, en primer lugar, hay que aflojar el husillo, entonces es posible acercar el contrapunto a la brida del útil 2.

3.4.5.7. Colocar útil en contrapunto

Una vez que el contrapunto está en su sitio, se hace que encaje el cono de centraje del mismo con la brida del útil y se ajusta hasta que entre el pasador.



Fig.95. Comprobación de ajuste del cono

Entonces, se atornilla el husillo del mismo y se coloca el pasador. En ese momento el contrapunto está amarrado.

3.4.5.8. Comprobar sujeción y soltar eslingas

Llegados a este punto, hay que asegurarse que el útil está bien sujeto a la máquina. Se comprueban los tornillos y el pasador, y se sueltan las eslingas.

Se colocan de nuevo las barandillas de seguridad de la máquina y se devuelven todas las herramientas (SPOO, el puente grúa, las eslingas...) a su zona de almacenamiento.

3.4.6. Preparación de utillaje

Consiste en la limpieza y preparación superficial de los útiles donde se laminará la pieza. Esta operación debe realizarse cumpliendo siempre lo indicado en la normativa aeronáutica.

En primer lugar se realiza un desbaste preliminar para acabar con la suciedad de la superficie del útil, utilizando un disco de lijado evitando siempre dañar la superficie del útil.

A esta operación le sigue una limpieza más suave, a base de disolventes. Suele utilizarse Metil-Etil-Cetona (MEK) que se aplica manualmente utilizando trapos limpios de algodón que no desprendan hilos. Se humedece la superficie del útil con el disolvente e inmediatamente se seca (nunca dejar que el disolvente se evapore y se seque sobre el útil).

Posteriormente se aplicará sobre el útil el agente desmoldeante, para evitar la adherencia de la primera capa del "prepreg" sobre el útil.

Los desmoldeantes más utilizados son el FREKOTE 33 (líquido) y el TOOLTEC (película solida en rollos). La aplicación del desmoldeante líquido se debe hacer de forma uniforme y homogénea. Una vez aplicado el producto, debe dejarse secar durante al menos 2 horas, entonces podrá comenzarse el laminado. Si el útil nunca se ha usado o hace mucho que no se utiliza, deben aplicarse 2 o 3 capas de desmoldeante, esperando una media hora entre capa y capa.

En el caso de los útiles PEFP para la máquina F.P., al no salir del área limpia, no se les puede aplicar desmoldeante líquido. Por ello, en este caso se utiliza *tooltec* y otros materiales auxiliares que sirven como desmoldeantes. En la siguiente imagen se aprecia un PEFP cubierto de *tooltec* (material gris) y en determinadas zonas cubierto por cinta de alta temperatura (azul) y película separadora (rojo).



Fig. 96. Ejemplo de PEFP cubierto por *tooltec*.

En la imagen se ve, en el extremo del útil, la bolsa corrugada (verde) que se coloca una vez que el útil está situado en la máquina. Esta bolsa sirve para proteger al útil cuando no está siendo usado y para las compactaciones intermedias con vacío de la red (no con el compactador de la máquina) que exige la normativa. Si se trabaja con cuidado y se coloca correctamente la misma bolsa puede servir para varias ejecuciones.

3.4.7. Preparaciones finales de máquina

Una vez que el material está atemperado y el útil correctamente colocado solo queda cargar el material y los datos en la máquina.

Antes de colocar el material hay que comprobar que el circuito de las mechas está limpio y libre de pelusas y restos de resina. En caso contrario, han de limpiarse todos los elementos. Posteriormente se coloca el compactador.

Entonces, se cargan las bobinas en el armario refrigerado de la propia máquina y se enhebran las tiras a través de los mecanismos del cabezal.

Una vez que el material está perfectamente colocado, es necesario activar el programa de la máquina para que ésta registre todos los datos de la ejecución, pero previamente hay que cargar en la máquina una serie de datos:

- Número de operario
- Material
- Lote de fabricación
- Número de cada bobina
- Peso de cada bobina
- Fecha y hora de salida de la cámara frigorífica
- Tiempo acumulado a temperatura ambiente (es decir, horas de exposición restantes).

Esta operación deberá repetirse cada vez que se instale una nueva bobina.

Entonces, se establecen los parámetros de trabajo de la máquina (presiones, temperaturas...) y se selecciona el programa indicado para la pieza a laminar. En este momento se está en posición de comenzar el laminado automático de la pieza.

3.4.8. Laminado automático mediante "Fiber Placement"

Durante el laminado automático de las FSF se intercalan varias etapas de operaciones manuales, ya que estas piezas llevan una serie de materiales, además de la fibra de carbono (Slit tape), como son adhesivos, núcleos, tedlar...

Para estas operaciones manuales es necesario parar la máquina o hacer que trabaje simultáneamente en ambas estaciones, de forma que cuando se estén realizando operaciones manuales en una, la maquina lamine en la otra (y viceversa).

A diferencia del laminado manual, el automático no necesita tantas compactaciones intermedias ya que el cabezal de la maquina va compactando a la vez que posiciona el material en el útil. Pero en todo proceso de laminado automático mediante "*Fiber Placement*" se realizan compactaciones intermedias cada 30 capas aproximadamente, durante 20 minutos como mínimo y con vacío de red.

Con la aplicación del vacío se elimina el aire existente en el interior, lo que produce una buena compactación entre capas consiguiendo piezas finales de buena calidad (sin huecos ni delaminaciones). En el caso del laminado manual, es necesario compactar tras la colocación de la primera capa y luego cada 3 o 4 capas, ya que es la mano del operario la que coloca las telas y se queda mucho más aire entre capa y capa que cuando es la máquina la que lamina. También la bolsa de compactación de un laminado manual es totalmente diferente a la que se realiza sobre el mandril de la F.P.

Para estas compactaciones es necesario fabricar una bolsa de compactación, que como hemos dicho, en este caso concreto se realiza con bolsa corrugada antes de comenzar a laminar y se utiliza la misma bolsa en

todo el proceso (incluso se puede utilizar para varias ejecuciones si la bolsa está en buenas condiciones).

Además de esto, durante el posicionado de fibra, el operador de máquina deberá realizar inspecciones visuales entre capa y capa para verificar comienzos y fines de capa, huecos, solapes, orientaciones, uniones de tiras, tiras retorcidas o dobladas, inclusiones u otros defectos. Si el operario detecta algún defecto, lo debe corregir manualmente.

La fabricación de las FSF no requiere de probeta de control de proceso.

A continuación se relacionan los pasos a seguir para el laminado de las carenas FSF:

3.4.8.1. Laminado patrones fibra vidrio

El primer paso es colocar los patrones precortados de fibra de vidrio preimpregnada. Para colocarlos en el sitio correcto, existen en el útil unas marcas de referencia con la identificación del patrón a colocar. De esta manera, al venir el patrón cortado en el kit, el operario sabe perfectamente desde donde y hasta donde llega el patrón de vidrio. Si éste no coincide con la marca del mandril, es señal de que el patrón está cortado de forma incorrecta.

3.4.8.2. Laminado F.P. cara interna

Este paso es realizado por la máquina, que va colocando, según el programa que se le ha cargado, las tiras de fibra con la orientación y dimensiones adecuadas.

Durante esta etapa se hacen compactaciones intermedias con vacío de red y la bolsa corrugada de compactación, como se comentó anteriormente. El vacío exigido según la normativa en las compactaciones previas a la colocación

del núcleo debe ser como mínimo de 560 mm Hg y durante unos 15-20 minutos. Finalizada la compactación se retira la bolsa y se reserva en un extremo del útil evitando que interfiera en el laminado posterior.

3.4.8.3. Colocación adhesivo

En esta operación manual, el operario coloca una capa de adhesivo en las zonas indicadas en la documentación de trabajo. El adhesivo, que también es un preimpregnado, está protegido en ambas caras por un papel soporte. Solo se retira el de la cara que va a estar en contacto con el material laminado.

Colocado el adhesivo, se procede a compactarlo con el rodillo de la máquina. Es por esto que el film protector de la cara que queda al aire se ha dejado para evitar contaminación del adhesivo al contacto con el rodillo durante la compactación.

Una vez que el adhesivo se ha compactado y ha quedado completamente pegado al laminado de fibra se retira el protector.

3.4.8.4. Colocación del núcleo

Es en este momento cuando se coloca el núcleo. No es necesario el uso de plantillas de posicionamiento ya que el mandril y las capas ya colocadas y compactadas cuentan con una "piscina" con la forma del núcleo, por lo que solo hay una forma de posicionarlo.

3.4.8.5. Colocación adhesivo

Antes de compactar el núcleo hay que colocar otra capa de adhesivo. Se procede igual que en la capa anterior al núcleo, es decir, no se retira el film protector hasta que se compacte con el rodillo de la máquina la capa de adhesivo colocada.

El adhesivo se coloca justo antes y justo después del núcleo, ya que su función es pegar que el núcleo y el laminado no se separen ni existan delaminaciones ni porosidad entre esas capas.

3.4.8.6. Laminado F.P. cara exterior

La máquina vuelve a trabajar en esta etapa, laminando la cara exterior de las FSF. Las compactaciones intermedias en esta fase se harán con un vacío de red de 250 mm Hg como máximo ya que el núcleo está colocado y un vacío mayor puede aplastarlo.

El rodillo compactador no ejerce en esta parte del laminado tanta presión como en la primera, ya que el programa cargado tiene en cuenta el núcleo.

3.4.8.7. Colocación malla de bronce

La penúltima capa del laminado de las FSF es de malla de bronce, otro material que se coloca manualmente y que fue cortado al preparar el kit de telas de esta pieza.

Es un material formado por una malla metálica preimpregnada en resina, por lo que se almacena en la cámara frigorífica. La función de este material es crear un sistema de protección contra descargas eléctricas (especialmente rayos) en los componentes estructurales de aviones.

Es un material que se coloca en las piezas de materiales compuestos (no conductores) que pertenecen al fuselaje en su cara exterior, para hacerlas conductoras de la electricidad de forma que la corriente eléctrica que pueda llegar a la nave pueda circular y distribuirse uniformemente.

3.4.8.8. Colocación adhesivo superficial

Se coloca un adhesivo superficial de la misma manera que en los 2 casos anteriores, es decir, sin retirar el papel soporte. Se compacta el apilado con el rodillo de la máquina y con especial cuidado de no aplastar el núcleo.

3.4.8.9. Corte línea división carenas fijas y carenas móviles

En el mandril que se utiliza para fabricar las FSF se laminan simultáneamente 4 carenas diferentes, 2 de ellas son carenas móviles y las otras 2 son fijas (por la función que realizarán una vez montadas en el avión).

Al laminar la máquina las 4 a la vez, puede ocurrir que en las zonas de separación entre unas carenas y otras haya quedado cinta uniendo las distintas piezas. Antes de finalizar el laminado hay que cortar esas posibles uniones.



Fig. 97. PEFP laminando las 4 FSF.

3.4.8.10. Colocación patrones de tedlar

Por último, una vez retirado el papel protector de la última capa de adhesivo se colocan los patrones de tedlar según la documentación de trabajo.

3.4.8.11. Compactación final con vacío de red

Tras el tedlar es necesario hacer la última compactación con vacío de red para asegurar la eliminación de aire entre capas. En este caso también el vacío debe ser como máximo de 250 mm Hg para no dañar el núcleo.

3.4.9. Transferencia de piezas del PEFP al PEAU

El útil sobre el que se ha laminado la pieza no sirve para el curado de la misma. Hay que desmoldear la pieza fresca del mandril de laminado y pasarla al PEAU para su posterior curado.

El desmoldeo de la pieza fresca hay que hacerlo manualmente con paletas de nylon. Una vez desmoldeado se pasa a un útil de recepción y de éste al PEAU. Es un proceso que deben hacer 2 operarios y por el cual se necesita un elevador de personas ya que el foso de la máquina impide acceder a las piezas frescas.

Se utiliza un PEAU para cada carena, a diferencia del mandril, en el que se laminan a la vez 4 carenas.



Fig. 98. Carena en PEAU con bolsa de curado.

3.4.10. Bolsa de curado

Una vez que la piza ha sido transferida al PEAU solo falta hacer la bolsa final para poder curar la pieza.

La fabricación de la bosa de curado es una etapa muy importante y delicada del proceso de fabricación. Si ésta no cumple bien su misión puede causar problemas en la pieza que puede llegar a ser dada por inútil.

Su misión es extraer el aire, evitar la entrada del mismo y compactar durante el ciclo. La bolsa debe mantenerse sin entradas de aire hasta el momento en que la pieza entra en el autoclave, en caso contrario ya en el inicio del ciclo estaríamos incurriendo en un grave problema.

El esquema general de todas las bolas de curado es el mismo, pero cada pieza tiene unas condiciones específicas que vienen dadas en la documentación de trabajo.

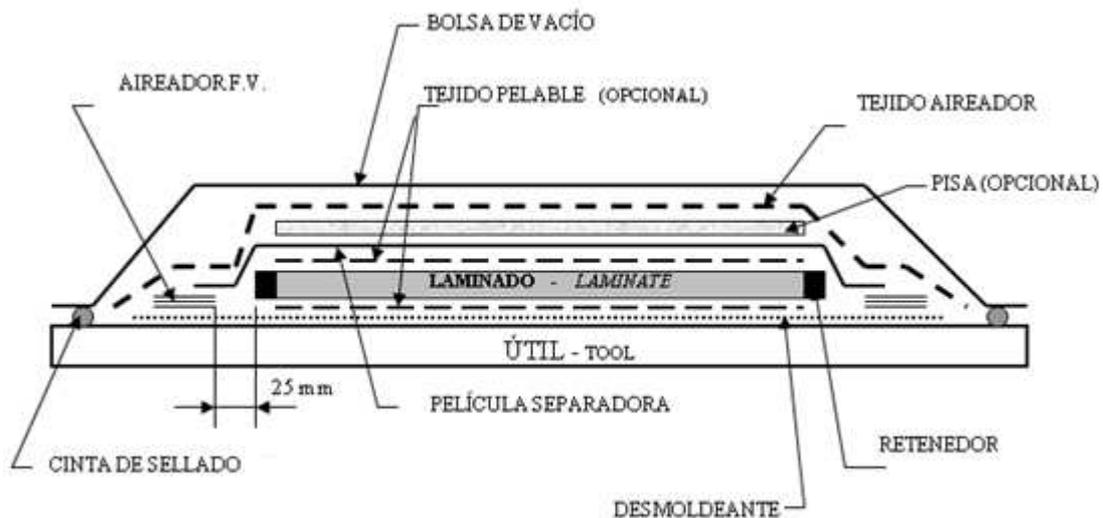


Fig. 99. Esquema general de bolsa de curado.

En el caso de las carenas FSF se utilizan todos los materiales auxiliares representados en la figura anterior para fabricar la bolsa de curado, excepto el pisa y el corcho retenedor.

Para fabricar la bolsa lo primero que debe hacerse es cortar todos los materiales que vayan a ser utilizados. El tamaño se hará en función de las dimensiones y geometría de la pieza y el PEAU. Los pasos a seguir para realizar la bolsa son los siguientes:

3.4.10.1. Cinta de fibra de vidrio

Una vez fabricado el elemento, se procederá a colocar un mínimo de cuatro bandas de fibra de vidrio en todo el contorno de la pieza. Se coloca dejando unos 3 cm entre ésta y el laminado para evitar desprendimientos de fibras sobre el apilado.

Por la geometría del PEAU de las carenas, hay que aguantar la cinta de vidrio con cinta adhesiva de alta temperatura (la que se utiliza en la llamada cinta azul o "*flashbreaker*").

3.4.10.2. Película separadora

Se recubrirá toda la superficie del laminado con una película separadora hasta la mitad de las bandas de fibra de vidrio. Este "film" evita el contacto directo del resto de materiales con las capas de laminado. Como en el caso anterior quizás sea necesario usar la cinta azul para sujetar el separador al útil.

3.4.10.3. Pasta de sellado

La pasta selladora de vacío se coloca en el borde del útil por todo su contorno, que estará totalmente limpio, libre de partículas y restos de desmoldeantes. No se desprenderá el papel protector de la cara exterior hasta el cierre de la bolsa.

Las masillas de cierre se utilizan para crear estanqueidad ente el PEAU y la bolsa de vacío. Si existe suciedad en la zona donde se coloca la masilla, hay peligro de entrada de aire durante el ciclo y si hay exceso de desmoldeante, la masilla puede desprenderse del PEAU. En cualquier caso, dejaría de ejercer su función.

3.4.10.4. Mantas de aireación

Hay que cubrir todo el laminado con el tejido aireador. Este se colocará sobre el separador para evitar cualquier contaminación de la fibra. La manta de aireación debe adaptarse totalmente a la superficie de la pieza y cubrirla completamente.

Se debe tener precaución de no dejar puentes o huecos que puedan producir roturas de bolsa durante el ciclo de curado. Para ello se darán tantos cortes a los aireadores como sea necesario. Se sujetará con cinta adhesiva de alta temperatura.

Es imprescindible usar este material para conseguir extraer todo el aire ocluido entre las capas del apilado.

3.4.10.5. Película de bolsa de vacío

Por último hay que colocar la bolsa de vacío propiamente dicha. La película de bolsa de vacío es la encargada de sellar todo el laminado.

Este material también debe cubrir al completo la superficie del útil. Hay que cortar este material para que quede holgado, ya que hay que evitar que durante el ciclo el material de bolsa quede tirante y pueda romperse.

Por ello en las irregularidades de la pieza (como radios, cambios de altura...) hay que acoplar la bolsa haciendo pliegues en la misma o "pinzas". Con esto aseguramos que la bolsa llega a todas las partes de la pieza y por tanto el vacío compacta todos sus puntos. Además así evitamos el puenteo de la bolsa, lo que puede producir roturas de la misma debido a la presión en el ciclo.



Fig. 100. Ejemplo de pinza realizada con bolsa de vacío

Se cierra la bolsa con la pasta sellante blanca (es ahora cuando retiramos el papel protector). Hay que poner especial cuidado en que no quede ninguna zona entre bolsa y masilla por donde pueda entrar aire. Al ser la

masilla muy blanda, el operario con la mano es capaz de crear la estanqueidad dentro de la bolsa apretando ésta sobre la masilla.

3.4.10.6. Tomas de vacío

Son los que permiten extracción del aire entre las capas y dentro de la bolsa. Se conectan a una manguera que a su vez está conectada a un sistema de vacío.

Deben ir colocadas sobre la cinta de fibra de vidrio y el "Airweaver" (es decir, sobre los 2 aireadores) para asegurar que extraen el aire completamente. Además habrá que colocar bajo cada toma un trozo de película separadora para evitar que se obstruya por sangrado de resina.

Las tomas de vacío se colocan en 2 pasos. En primer lugar se coloca la base de la toma, como hemos dicho anteriormente, sobre los aireadores.

Se coloca la película de vacío y sobre ella se posiciona el resto del sistema que conforma la toma. Éste se introduce sobre la placa, traspasando la bolsa de vacío y se cierra la toma. Hay que evitar las arrugas de la bolsa en la zona donde hemos colocado la toma, ya que esto produciría fugas de aire.



Fig. 101. Toma de vacío

Siempre deben evitarse la colocación de las tomas de vacío en zonas curvas, hay que buscar zonas con buen asiento. Por otro lado, las tomas se colocan sobre el útil, nunca sobre el laminado. El número de tomas y la forma de repartirlas lo indica la normativa, pero en nuestro caso son 2, una en cada lado del útil.



Fig. 102. Detalle de toma de vacío en PEAU de FSF

3.4.10.7. Termopares

Son los elementos que se encargarán durante el ciclo de curado de controlar la temperatura de la pieza.

Siempre que se vayan a usar deben ser comprobados para asegurar su buen funcionamiento, ya que si los termopares no cumplen su función y no registran las temperaturas, el ciclo puede ser considerado inútil, y las piezas del mismo también.

Se colocan como indica la normativa, pero siempre debe hacerse de forma homogénea, con la idea de poder conocer la temperatura en todas las partes de la pieza. Deben colocarse dentro de las capas del laminado si es posible, sino, lo más cerca posible de apilado. Hay que colocarlos antes que el material de bolsa de vacío.



Fig. 103. Detalle de termopar en PEAU de FSF

Al menos deben colocarse 2 termopares por pieza, pero para elementos de dimensiones grandes se colocan más. Los termopares se sujetan con masilla de vacío y las puntas se protegen con cinta azul para evitar que pinchen el material de la bolsa.

Una vez que la bolsa de curado se ha cerrado y terminado hay que verificar que no tiene entradas de aire. Es decir, hay que cerciorarse de que es totalmente estanca.

Para ello se conecta la manguera de vacío a una de las tomas y se aplica vacío. En la otra toma se conecta un vacuómetro, con el que se podrá medir el vacío existente.

Mientras la manguera está conectada se observa la unión entre masilla y útil buscando alguna salida de aire que denote que la bolsa no está totalmente cerrada (si existen entradas de aire se oirán cerca de la bolsa unos silbidos). Se vuelve a reparar toda la tira de masilla y se cierra apretando con la mano donde haya entrada de aire.

Cuando el vacuómetro indique que se ha hecho el vacío indicado en la normativa, se retira la manguera y se espera unos 10 minutos. En ese tiempo la pérdida de vacío no puede superar los 25 mm Hg.

En caso de que la pérdida sea mayor, se busca la entrada de aire y se cierra. Si no es posible hacerlo con la masilla colocada, habría que rehacer la bolsa de vacío. Nunca entrará en el ciclo una pieza cuya bolsa no haya sido comprobada.

3.4.11. Ciclo de curado

En capítulos anteriores hemos visto qué es un ciclo y cuáles son sus parámetros fundamentales. A continuación vamos a ver las distintas etapas a seguir para el curado de las carenas FSF justamente después de haber cerrado la bolsa de curado.

En primer lugar se colocan las piezas a curar en la plataforma del autoclave. Siempre hay que intentar optimizar el espacio y cargar el autoclave al máximo, dentro de las posibilidades del mismo, para aprovechar al máximo la energía que un ciclo de curado consume.

La posición de los útiles cargos en el horno debe quedar registrada en la "Hoja de control del ciclo". Esta hoja además recoge una serie de datos muy importantes para la trazabilidad del proceso. Esta hoja recoge la siguiente información:

- Disposición de los útiles en la plataforma del autoclave.
- Disposición de las tomas de vacío y los termopares.
- P/N de los elementos, numero de serie y de referencia de cada elemento.
- Tipo de ciclo y sus propiedades.
- Operario que carga, programa, controla y descarga el ciclo.

En las siguientes páginas vemos un ejemplo de esta hoja de control. La primera refleja la recogida de datos sobre las piezas, y la segunda la disposición de las mismas en el autoclave y de sus tomas de vacío y sus termopares.

		FICHA DE IDENTIFICACIÓN DE PROCESO			
		CICLO DE CURADO			
T.P.	22	Nº CICLO	24022009-2	FECHA	24/02/09
HORA INICIO		HORA FIN			
DATOS DEL CICLO					
	PRESIÓN	RECETA	REAL		
ESCALÓN 1	TIEMPO SUBIDA	95 psi			
	TEMPERATURA DE POLIMERIZACIÓN	215°C/min.			
	TIEMPO POLIMERIZACIÓN	185°C			
		120 min.			
DESMOLDEO	TEMPERATURA	< 60°C			
RELACIÓN DE PARTES					
PARTE	ORDEN	N/S	OBSERVACIONES		
LS4123035002A01	6927	48			
LS4123071002A01	6928	48			
LS4123094000	6916				
LS4123094000	6911				
F553A1020000	6767	4			
F553A1020001	6766				
PROBETA ENSAYO 2-19732	6739	48			
PANEL SUP-FIB 210x297x2	6833				
SUP-FIB 210x297x2	6834				
PANEL SUP-FIB 210x297x2	6835				
CONFORMIDAD DEL CICLO					
PRODUCCIÓN			CALIDAD		
OBSERVACIONES			OBSERVACIONES		

Fig. 104. Ejemplo de Hoja de Control de ciclo.

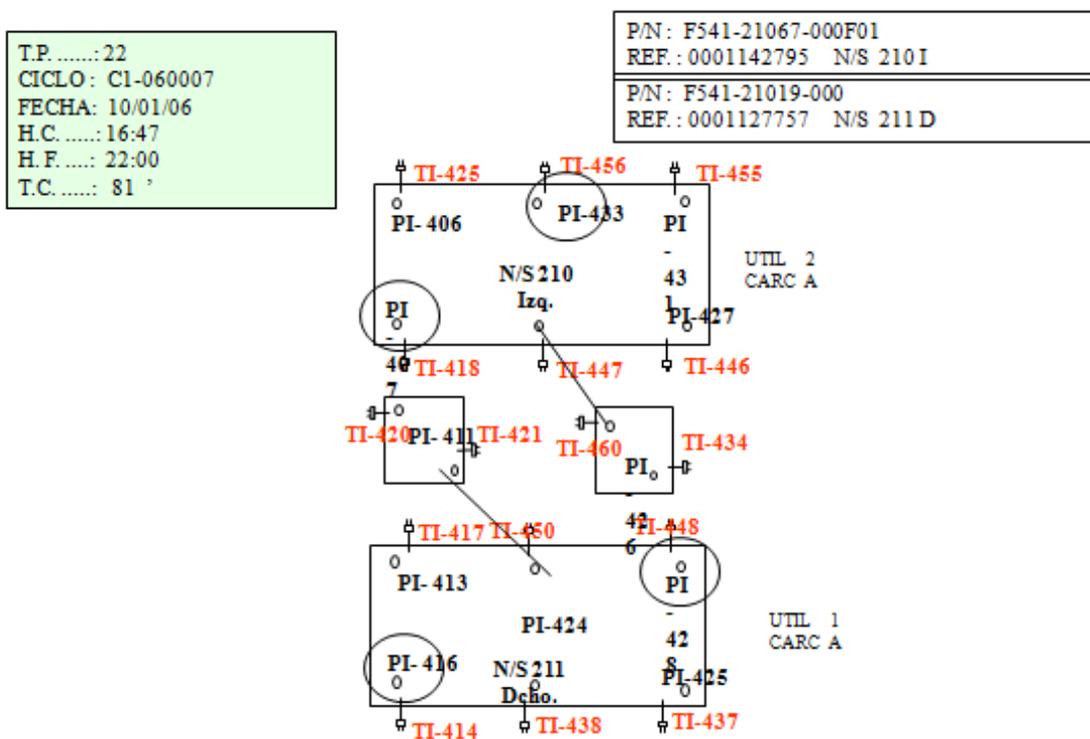


Fig. 105. Hoja de control de ciclo

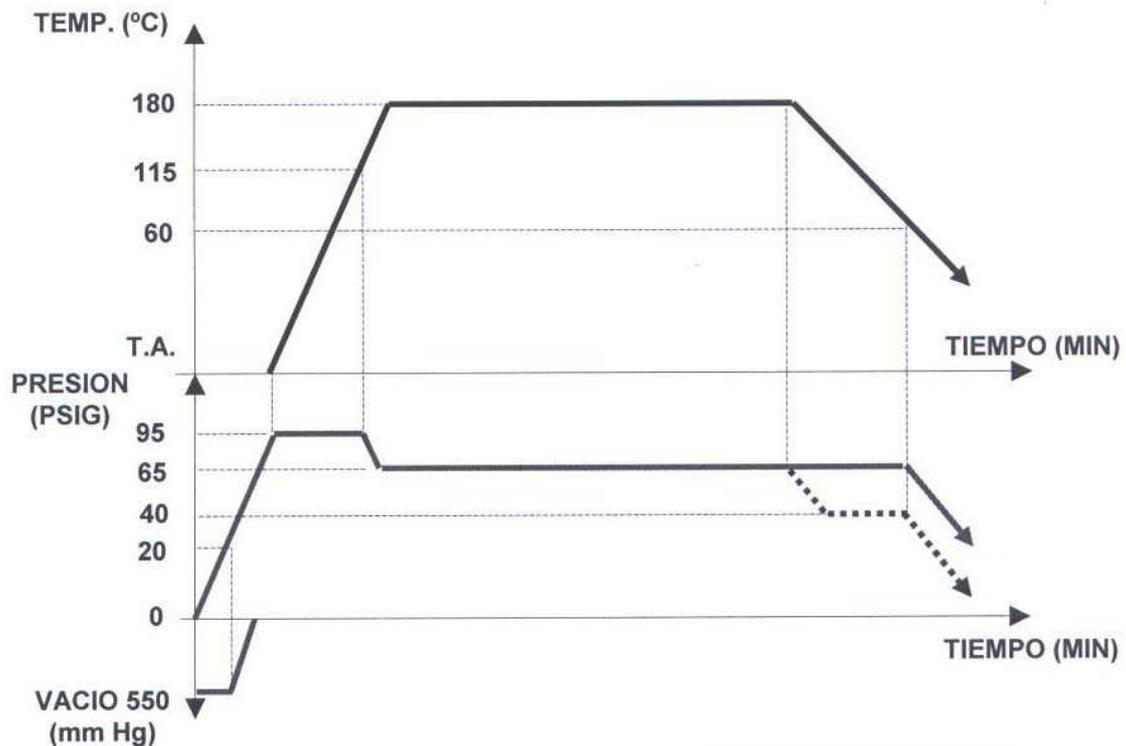
Una vez cargados los útiles en la plataforma, se procede a programar el ciclo. El autoclave tiene un armario de control con un ordenador. En él se cargan los parámetros necesarios del ciclo que necesitan las piezas a curar. El ordenador controla de forma automática los dispositivos del horno según se hayan definido los parámetros del ciclo.

Es entonces cuando se conectan las mangueras de vacío y los termopares. Las primeras sirven para dar vacío a las piezas al inicio del ciclo, luego la bomba del autoclave deja de funcionar y se genera la presión necesaria dentro del autoclave.

Los termopares son necesarios para tener un registro continuo de la temperatura en varios puntos de las piezas.

Cuanto todo está conectado correctamente se revisan las válvulas y el vacío y si no hay ningún problema se procede a cerrar el autoclave y a iniciar el ciclo desde el ordenador de control.

Para las carenas FSF el ciclo de curado es el que se ve en la siguiente imagen:



VARIABLES	
PRESIÓN	65 ± 5
VACIO (mm Hg)	550 a 600
TIEMPO DE CALENTAMIENTO (min)	60 a 150
TEMPERATURA DE ESTABILIZACIÓN (°C)	180 ± 5
TIEMPO DE ESTABILIZACION (min)	120 a 180
TIEMPO DE ENFRIAMIENTO (min)	≥ 45
TEMPERATURA DE DESMOLDEO (°C)	≤ 60

Fig. 106. Receta del ciclo de curado par Carenas FSF.

El ciclo consiste en calentar hasta 180 ° C durante al menos 1 hora y como máximo 2.5 horas (según la velocidad de calentamiento). Llegados a la temperatura de estabilización, se mantiene durante 2-3 horas a 180 ° C y

entonces comienza a bajar durante al menos 45 minutos. El vacío se aplica al comienzo del ciclo y la presión de estabilización será de 65 psig.

3.4.12. Desmoldeo y taladrado de coordinación

Una vez que el ciclo ha finalizado hay que desmoldear la pieza, hacer los taladros de coordinación y entonces separarla del útil.

Lo primero que hay que hacer es retirar completamente todos los materiales de la bolsa de curado. Se guardan los reutilizables (como tomas de vacío y termopares) y se desechan los demás. Esta operación se hace en el área sucia, en la zona más cercana al autoclave para evitar el movimiento excesivo de utillaje.

Para el desmoldeo se utilizan espátulas de teflón que no dañen la pieza y mazos para golpear las espátulas y separar la pieza del útil. Esta operación debe hacerse con especial cuidado para no dañar ni el molde ni la pieza.

La espátula se mete entre la pieza y el molde y se golpea con el mazo hasta que se separen. En nuestro caso no se debe sacar la pieza del útil ya que hay que hacer los taladros de coordinación.

Estos taladros se hacen con el objetivo de sujetar la pieza en procesos posteriores, concretamente en el recorte por control numérico que se realiza en la segunda parte del proceso.

Son taladros que pueden hacerse de forma manual y no requieren de mediciones especiales ya que son taladros previos que van en zona de creces y además no se hacen para un posterior montaje de la pieza en el avión o en otras partes, por lo que las exigencias de calidad no son tan estrictas como en taladros finales o de montaje.

Cada carena lleva 2 taladros de este tipo. Para hacer el taladro en el punto exacto se utilizan la "placas posicionadoras", que se sitúan en el PEAU de forma que permiten taladrar la carena de forma muy sencilla y sin lugar a equivocación. Además estas placas sirven como guía a la hora de taladrar y evitan que la herramienta tiemble y se incline.

Las herramientas utilizadas son el taladro y las brocas. Éstas son especiales para materiales compuestos. Para las carenas, que están fabricadas en cinta de carbono, se utilizan las brocas espada, que evitan las delaminaciones típicas de este material.

En este punto se retira la pieza del útil. La pieza hay que identificarla con su referencia, P/N, fecha... Además debe acompañar siempre al elemento toda la documentación acumulada hasta el momento (orden de producción, hoja de control de materiales y de ciclo...).

3.4.13. Repaso de bordes

Las piezas de materiales compuestos una vez desmoldeadas hay que repararlas (si no van a ser recanteadas) para eliminar los bordes cortantes, que son extremadamente cortantes.

El recantado es una operación de mecanizado mediante la cual se obtiene la configuración geométrica final de la pieza. Puede ser manual o automático.

En el caso de las carenas, el recantado se hace en la segunda parte del proceso y además mediante control numérico. Por ello, antes de verificar las piezas hay que eliminarle los filos para que puedan ser manipuladas sin peligro. Una vez repasados los bordes, éstos se protegen mediante una esponja para evitar golpes y delaminaciones en la manipulación.

Una vez que la pieza se ha repasado se lleva a la zona de verificación y se coloca en un SPOO mientras espera a ser inspeccionada.

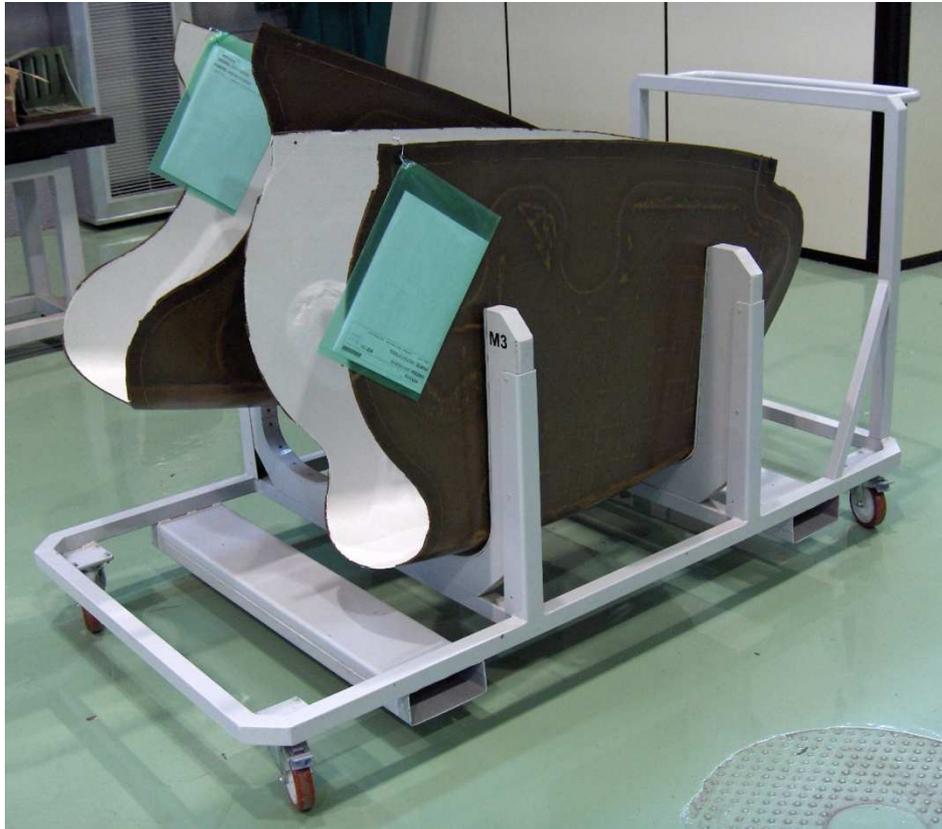


Fig. 107. Carenas en SPOO

3.4.14. Verificación

Antes de comenzar la segunda parte del proceso de producción de estas piezas es necesario inspeccionar el elemento para asegurarse que cumple los criterios de calidad definidos en la normativa aeronáutica y en el diseño de la pieza.

Es importante este paso del proceso, puesto que si la pieza no cumple las exigencias de calidad y se considera inútil (porque no pueda repararse) es una gran despilfarro continuar el proceso, ya que las operaciones posteriores son procesos muy caros (inspección ultrasónica, estanqueidad...)

Las inspecciones que se llevan a cabo en este punto del proceso son:

3.4.14.1. Verificación del ciclo

Haciendo uso de los registros generados durante el curado de la pieza y de la hoja de control de ciclo, el personal de verificación comprueba que durante todo el ciclo se han cumplido las especificaciones y que los parámetros han estado todo el tiempo dentro de los márgenes permitidos. Se verifica que no hayan existido entradas de presión, que los termopares no hayan registrado caídas de temperatura...

En la realidad ningún ciclo es ideal ni exactamente igual a la receta cargada en el autoclave, pero el personal de verificación es capaz de distinguir las desviaciones permisibles, las que requieren reparación y las que inutilizan la pieza.

3.4.14.2. Verificación de materiales

Gracias a los datos registrados en la hoja de control de materiales es posible saber si la pieza se ha hecho con materiales aptos para la fabricación (dentro de su vida útil), si se han utilizado los materiales que había que utilizar... En caso contrario, la pieza puede ser rechazada.

3.4.14.3. Inspección visual

Los verificadores inspeccionan toda la superficie de la pieza visualmente buscando irregularidades, arrugas, arañazos, golpes...

En este momento la pieza no se verifica dimensionalmente ya que aún no está recantada, por lo que no tiene las dimensiones finales. Como se ve en el mapa de la segunda parte del proceso, una vez recantada la pieza se le harán varios procesos de inspección como es la inspección ultrasónica (detecta

porosidades y delaminaciones internas), la estanqueidad (asegura que en piezas sándwich no hay posibles entradas de líquidos, que hincharían el núcleo y deformarían la pieza), "tap-coin" (es como la ultrasónica pero en la parte del núcleo)...

Al final del proceso se da la inspección dimensional, que consiste simplemente en medir (con calibre, cinta métrica y pinzas de espesores) las dimensiones que la orden de producción o el plano indique y comprobar que están dentro de los márgenes permitidos.

3.4.15. Reparaciones

Una reparación es el proceso al que se somete un elemento defectuoso que haga que dicho elemento cumpla los requisitos de calidad definidos por diseño de la pieza.

Si el personal de verificación detecta algún defecto debe abrir una "Hoja de no conformidad" (HNC). Esta hoja recoge toda la información de la pieza y del defecto encontrado. Este documento llega al personal de ingeniería de revisión de materiales que decide que hacer para reparar el defecto.

Mientras tanto, la pieza espera en una zona denominada "junta de revisión de materiales" hasta que el defecto haya sido evaluado y se sepa si puede repararse y cómo hacerlo.

En cada caso, al ser distinto el tipo de defecto, la reparación también lo es, pero podemos distinguir entre 2 tipos de reparaciones, las que requieren de nuevo material preimpregnado (se realizarán en parte en la sala limpia) y las que no.

En el primer caso se hace uso de la llamada sicoteva, que es una manta térmica unida a un cuadro de control que realiza un ciclo de curado pero

únicamente sobre una parte del elemento y a presión atmosférica. Se utiliza cuando es necesario colocar sobre la zona de la pieza que es defectuosa material preimpregnado, para curar éste sin que la pieza entera tenga que volver a entrar en el autoclave.



Fig. 108. Sicoteva

Las reparaciones que no requieren de material preimpregnado se realizan en el área sucia y se suele aportar para eliminar el defecto una mezcla de resina con polvo de fibra que se deja curar a temperatura ambiente.

Cuando la reparación se da por terminada, el departamento de ingeniería de revisión de materiales debe dar el visto bueno a la reparación y a la pieza. En ese momento se cierra la HNC abierta al inicio de la reparación y el proceso de fabricación puede continuar.

3.4.16. Envío a subcontratista

La operación del proceso que sigue es una operación externa por lo que requiere la preparación de las piezas y la documentación para el envío al proveedor.

En esta etapa hay que preparar tanto la pieza como la documentación que debe acompañarla.

La pieza debe salir de las instalaciones con un embalaje que asegure la integridad de la pieza mientras espera a ser transportada y durante el transporte. Por ello en cuanto calidad da el visto bueno a la salida de las carenas, ésta se envuelve en plástico de burbujas y se almacena en el área de expediciones a la espera del transporte.

Mientras tanto, ha de prepararse la documentación que debe acompañar a la pieza. Que es la orden de producción y la orden de envío.

La orden de producción indica al proveedor la operación que debe realizar y las especificaciones de la misma. Además, para asegurar la trazabilidad del proceso, se debe sellar la en orden la operación realizada y los comentarios pertinentes.

La orden de envío es un documento que se crea siempre que las piezas salen de las instalaciones de la organización. Contiene información acerca de la pieza, del transporte y de la persona que hace el envío.

Para este proyecto se definió que esta sería la última etapa del proceso productivo de las piezas en estudio.

4. SITUACIÓN PREVIA

Como se ha comentado en capítulos anteriores, el primer paso para la implantación de la filosofía Lean es diagnosticar la situación de forma que se conozca perfectamente el flujo de valor, se detecten los problemas y se puedan analizar sus causas. Es decir, el primer paso es hacer uso de las herramientas de análisis e identificación de problemas (VSM, tormenta de ideas...) y definir el objetivo a cumplir.

Por otro lado es imprescindible crear un grupo de trabajo o "Equipo Lean" compuesto por personal implicado en el proceso de producción y entre los componentes nombrar a un "Lean Manager". Éste debe ser alguien externo al departamento, que tenga una visión global y una mejor perspectiva del proceso.

El "*Lean Manager*" se encargará de coordinar todas las reuniones, de organizar las propuestas de mejora, de hacer el seguimiento a las mismas y al cumplimiento de objetivos... En nuestro caso el "*Lean Manager*" es un trabajador externo de una consultora especializada en implantar Lean. Los componentes del equipo de trabajo son:

- Jefe producción área composites.
- Jefe taller.
- Responsable calidad.
- Ingeniero "Fiber Placement".
- Operarios máquina (2 personas).
- Operario lay-up manual.
- Operario autoclave.
- Verificador.
- Técnico control producción.
- Becaria.
- Lean Manager.

El equipo de trabajo en la primera reunión creará un calendario de reuniones periódicas con los temas a tratar en cada una de ellas. En la primera reunión se hace una introducción a la filosofía Lean y se preparan las sesiones de diagnóstico.

Este diagnóstico va a consistir en:

- Creación del VSM de una familia de productos fabricada por laminado automático en el área de composites (carenas FSF).
- Recogida de datos de paradas referentes a las máquinas de encintado automático con los que se calculará el valor del OEE.
- Diagnóstico general de la planta (gestión visual, mantenimiento, formación...).

Del diagnóstico que se haga en estas primeras sesiones dependerán las acciones de mejora tomadas, el cumplimiento de las mismas y por supuesto el objetivo al que se llegue tras la aplicación del Lean.

4.1. MAPEO DE LA CADENA DE VALOR (VALUE STREAM MAP)

El VSM es la descripción gráfica de la cadena de valor de forma estandarizada. Es un gráfico que permite visualizar de forma clara todo el proceso productivo como un flujo, por un lado de información y por otro de materiales.

El VSM es creado por el equipo Lean en una o varias sesiones de trabajo, por lo que recogerá visiones diferentes de la misma realidad. Esto además permite que se promueva el trabajo en equipo y que el personal comience a concienciarse y a implicarse en las posibles mejoras.

Este gráfico facilita la visión de las acciones con valor añadido y de los desperdicios, por lo que permite lanzar las acciones de mejora dirigidas a eliminar esos desperdicios.

A la hora de aplicar la filosofía Lean es importante fijarse un objetivo, por lo que además de crear el VSM de la situación existente antes de la aplicación del proyecto es necesario crear el VSM objetivo, es decir, al que queremos llegar tras la aplicación del Lean. En nuestro caso, el VSM futuro o ideal solo reduciría los tiempos de cada operación y las esperas, pero el resto del diagrama permanecería igual (no se modifica el flujo ni las operaciones). En nuestro caso el objetivo es igualar el "Lead time" al "Takt time".

Llegar a ese objetivo es algo que no se consigue fácilmente, por lo que anualmente hay que revisar los VSM creados en el año anterior de forma que se trabaje en la mejora continua y cada año se propongan nuevas acciones de mejora.

Para dibujar el VSM se necesitan una serie de datos e informaciones que se obtienen de la observación directa del proceso. Esta información es recogida por parte de los componentes del grupo de trabajo y se pone en común en algunas sesiones previas a la creación del VSM.

La mayoría de esta información se ha expuesto en el capítulo anterior (información del producto y del proceso productivo) y se complementa con los siguientes datos:

- **Familia de productos seleccionada:** Carenas FSF.
- **Turnos y operarios por actividad:** Se ven en la siguiente tabla.

ACTIVIDAD	TURNOS	N° OPERARIOS		
		TURNO 1	TURNO 2	TURNO 3
Limpieza PEAU	1	1	-	-
Laminado	3	3*	3*	3*
Transferencia	3	2*	2*	2*
Bolsa curado	3	2*	2*	2*
Ciclo curado	2	1	1	0
Desmoldeo	1	1	0	0
Taladrado	1	1	0	0
Repaso	2	3	3	0
Verificación	2	3	3	0

Tabla 6. Turnos y operarios por turno.

(*Laminado → 1 Operario de máquina y 2 operarios de apoyo a máquina)

(*Transferencia y bolsa → 2 Operarios de apoyo a máquina)

- **"TAKT TIME"**. como se dijo, es el tiempo en el que los clientes requieren el producto. Para calcularlo hay que tener en cuenta ciertas cosas:

- En el año en que se desarrolla el proyecto hay 215 días laborales. Es decir, 5160 horas de tiempo disponible al año.

- La demanda de carenas FSF en ese año es de 40 aviones. Como ya se comentó, para cada avión hay que fabricar 8 carenas, que se hacen en 2 ejecuciones. Como todo el estudio se hace en base a cada lote de 4 carenas laminadas en cada PEFP la demanda será de 80 lotes en el año.

Entonces el takt time se calcula de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 \frac{\text{TIEMPO DISPONIBLE}}{\text{DEMANDA DIARIA}} &= \frac{8 \text{ H/T} \times 3 \text{ T/día}}{(80 \text{ lotes/año}) / (215 \text{ días laborales/año})} = \\
 \frac{24 \text{ H/día}}{0,37 \text{ lotes/día}} &= 64,5 \text{ H/lote} = \mathbf{2,7 \text{ días/ lote}}
 \end{aligned}$$

Por tanto, si cada 2 días y 16 horas se fabrica un lote de 4 carenas (se lamina un PEFP) el ritmo de la producción sería igual al de la demanda (situación ideal).

En el VSM se muestra el proceso productivo completo comenzando en el proveedor de materia prima y finalizando en el cliente. Se dibuja no solo el flujo de materiales, sino también el de información entre proveedores, el departamento de control de producción de la organización y clientes.

Los tiempos tanto de operaciones como de espera se han calculado a partir de la observación directa del proceso y de la toma de datos.

Conocida toda la información necesaria, para elaborar el VSM se siguen una serie de pasos (pueden verse con más detalle en el Anexo 1) que se describen a continuación.

4.1.1. Clientes

El proceso comienza cuando el cliente solicita los productos. Se dibuja al cliente con un símbolo de una fábrica en la derecha del mapa.

4.1.2. Procesos productivos

Se dibuja, por separado, cada área de proceso representándolas como una caja. En estas cajas se indica la información necesaria de cada etapa del proceso. La información que recogen es:

- C/T. Tiempo que dura esa operación.
- OPERARIOS/T. Operarios dedicados a esa tarea en cada turno.
- TURNOS. Nº de turnos del proceso productivo.
- C/O. Tiempo de cambio, tanto de utillaje y como de material.

Es muy complicado representar por separado cada tarea u operación del proceso productivo, por lo que a veces se reúnen en una misma caja las operaciones entre las cuales el flujo es continuo y las características son

parecidas. Por ejemplo, en nuestro caso, se ha unido la operación de laminado con la de cambio de útil como un mismo proceso.

4.1.3. Puntos de stock

Se representan con un triángulo en el que aparece un dato de tiempo, que es el tiempo de espera del material entre la operación anterior y la siguiente.

Este punto es importante, ya que muestra claramente los cuellos de botella y las áreas del proceso donde existen mayores tiempos de espera (desperdicio).

4.1.4. Entrada y salida de material

Se dibuja la salida del producto acabado hacia el cliente y la entrada de materia prima desde el proveedor.

4.1.5. Relación entre procesos

Una vez dibujadas las áreas de procesos hay que mostrar la relación entre ellas. Como dijimos pueden trabajar en modo *push* o *pull*. En nuestro VSM todos los procesos trabajan en modo *push* (se representa con flechas rayadas). Solo expediciones trabaja en modo *pull* (se representa con una flecha blanca) enviando cada día lo que el cliente solicita.

Con la información dibujada hasta ahora se ha terminado el flujo de materiales. Comenzamos a representar el flujo de información.

4.1.6. Flujos de información

Se representan con flechas delgadas y en nuestro caso, por ser todo este flujo electrónico, las flechas no son rectas.

Por un lado, control de producción recibe la previsión de necesidades del cliente anualmente, con lo que genera una planificación de producción basada en las previsiones. Por otro lado, recibe del cliente pedidos en firme, con los que se crea el "Plan de producción".

A partir de la previsión de la planificación se envía al proveedor de materia prima una previsión de consumo anual. Por otro lado, a partir del plan de producción real, semanalmente se generan los pedidos de material necesarios para el proveedor.

Por último, control de producción lanza las ordenes de producción basándose en los datos del plan de producción real.

4.1.7. Líneas de tiempo

En la parte de abajo del mapa se muestran los tiempos de procesos (arriba) y de inventarios (abajo) de forma que podemos obtener fácilmente el tiempo de valor añadido (TVA) y el tiempo de valor no añadido (TVNA) y sumando ambos obtener el "*Lead time*" del proceso.

En este momento el VSM del estado actual está finalizado y puede verse en la página siguiente.

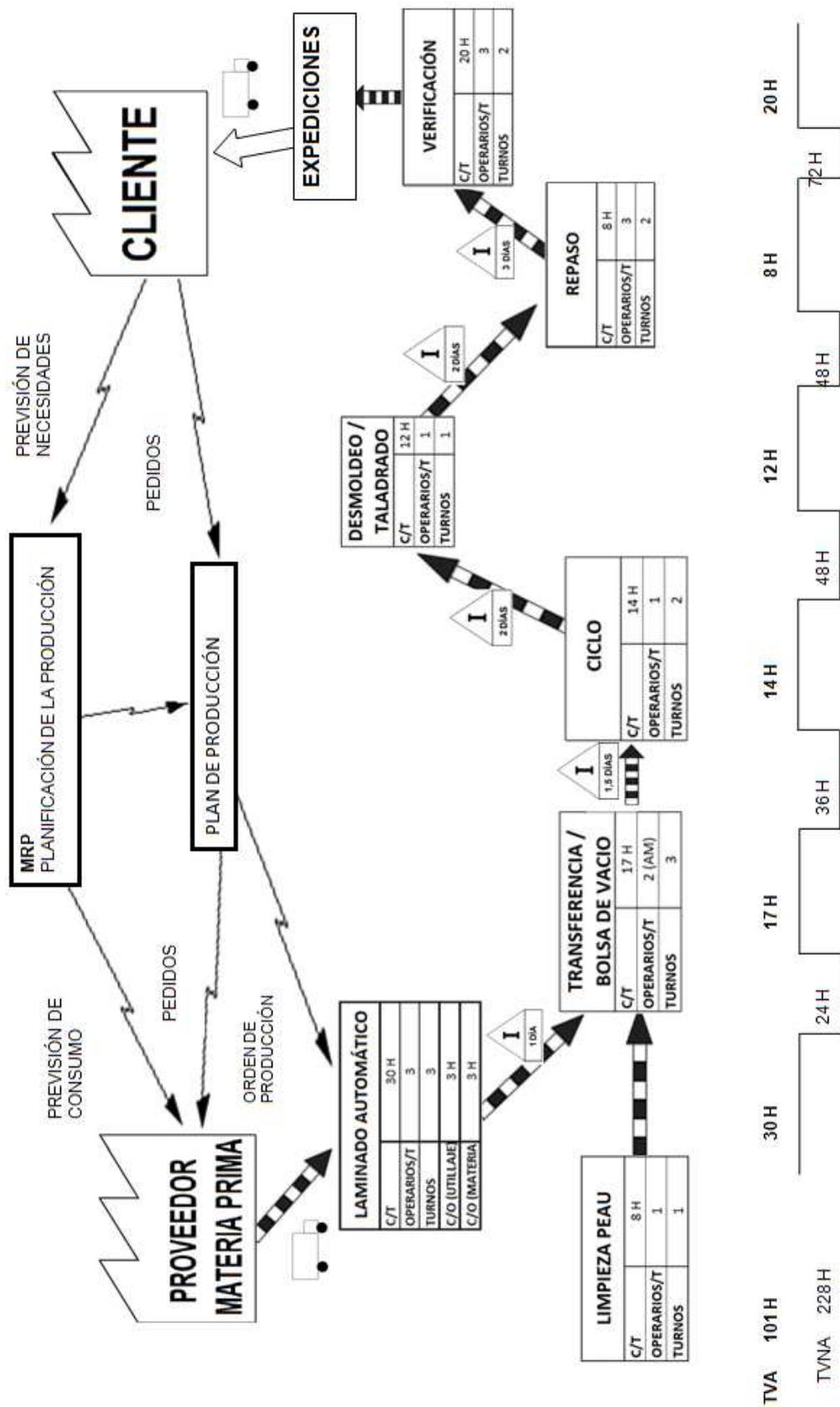


Fig. 109. VSM proceso producción carenas FSF

Los datos que obtenemos del mapeo de la cadena de valor son:

TIEMPO DE VALOR AÑADIDO (H)	101
TIEMPO DE VALOR NO AÑADIDO (H)	228
LEAD TIME (H)	329
LEAD TIME (Días)	13,7
% TVA	30,70%
% TVNA	69,30%

Tabla 7. Tiempos del proceso de fabricación de las carenas FSF

En definitiva, el VSM nos demuestra lo que se suponía, la mayoría del tiempo de proceso no aporta valor al mismo. Casi el 70% del "Lead time" está constituido por actividades valor no añadido, es decir, son despilfarros.

Con esta herramienta, es más sencillo identificar esos despilfarros y lanzar un plan de acciones de mejora cuyo objetivo sea disminuir el TVNA con lo que disminuirá automáticamente el "Lead Time".

4.2. RECOGIDA DE DATOS DE PARADAS DE MÁQUINA

Puesto que el objetivo principal del proyecto es mejorar el rendimiento de las máquinas de laminado automático, en una de las primeras sesiones del grupo de trabajo Lean se propuso crear un registro de datos de tiempos de paradas de ambas máquinas "*Fiber Placement*" con la idea de conocer perfectamente la frecuencia y el tiempo de las paradas para poder así priorizar las intervenciones de forma que se reduzcan las pérdidas de tiempo.

Para ello se crea un formulario que rellenarán los operarios de la máquina en cada ejecución donde se recogerán todas las paradas y sus tiempos.

Por otro lado, cada vez que la máquina para, el programa de la misma ("*Observer*") permite al operador seleccionar la causa de la parada de entre las categorías existentes en un listado (modificable) de forma que tras cada ejecución se genera un registro de paradas (OCTC) y tiempos de las mismas.

Haciendo uso de ambos registros, se crean una serie de gráficos que facilitarán el análisis de las paradas más frecuentes y largas y sus causas.

A continuación se muestran las gráficas obtenidas al inicio de la recogida de datos, desde mediados del mes de febrero hasta mediados del mes de marzo.

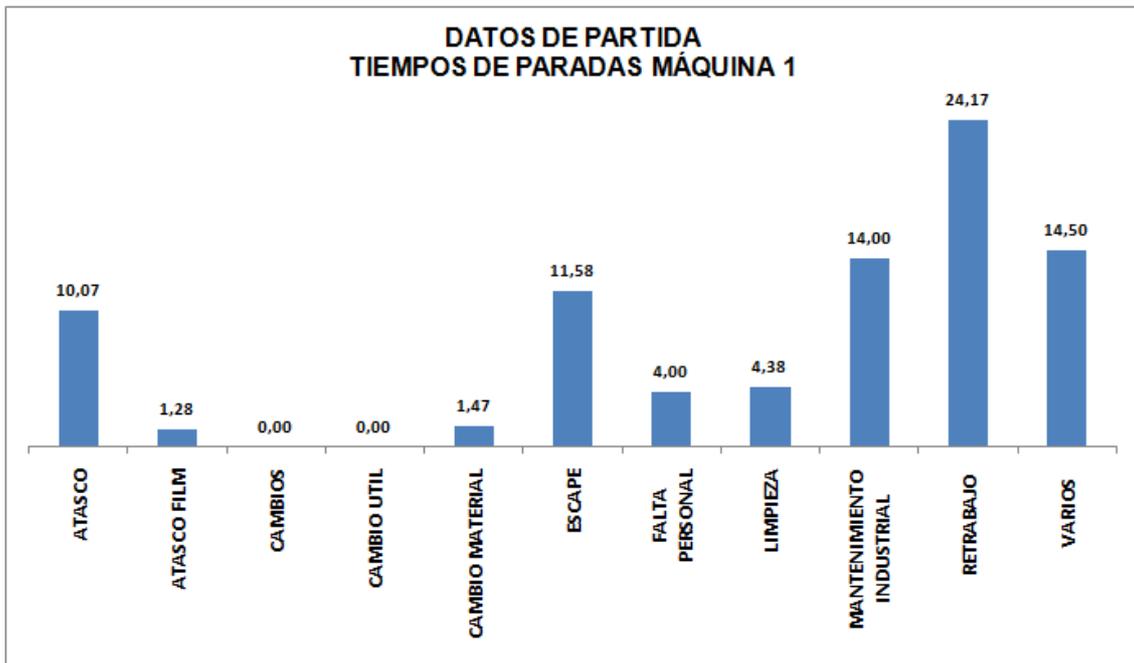


Fig. 110. Datos iniciales de paradas en máquina 1.

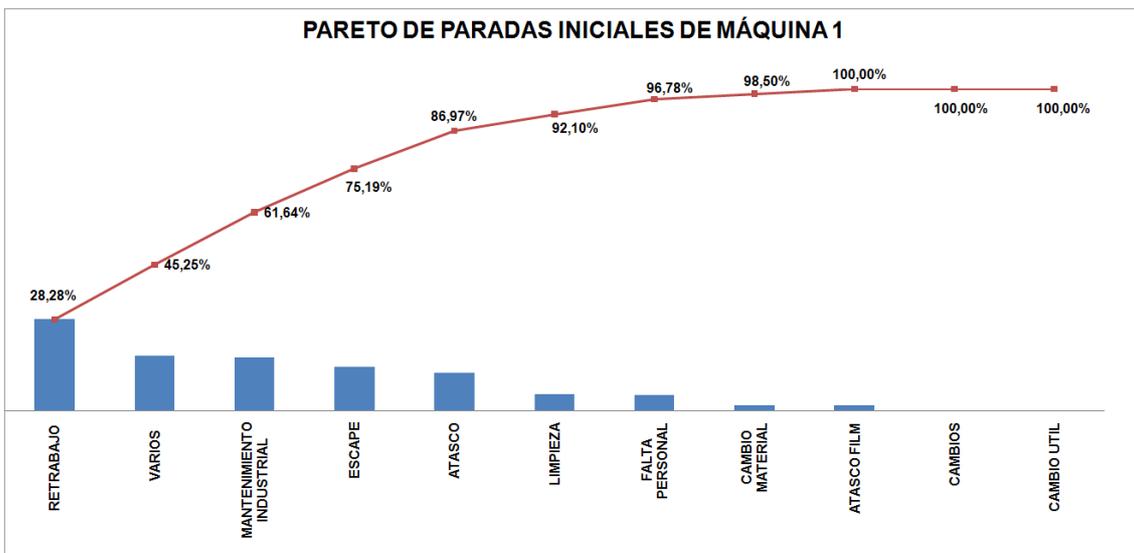


Fig. 111. Pareto de paradas de máquina 1.

En el caso de la máquina 1 se observa claramente que el "retrabajo de capas" (operaciones manuales) son la principal causa de paradas de máquina. Esta razón puede tener relación con un tipo concreto de piezas del departamento de desarrollo, que requieren por diseño mucho trabajo manual del laminado.

La categoría "varios" tiene un tiempo de parda parecido a otras categorías muy importantes, como es el "mantenimiento". Es por ello que el operario debe concretar al máximo la causa de la parada para que este apartado se minimice, ya que como "varios" no da ninguna información.

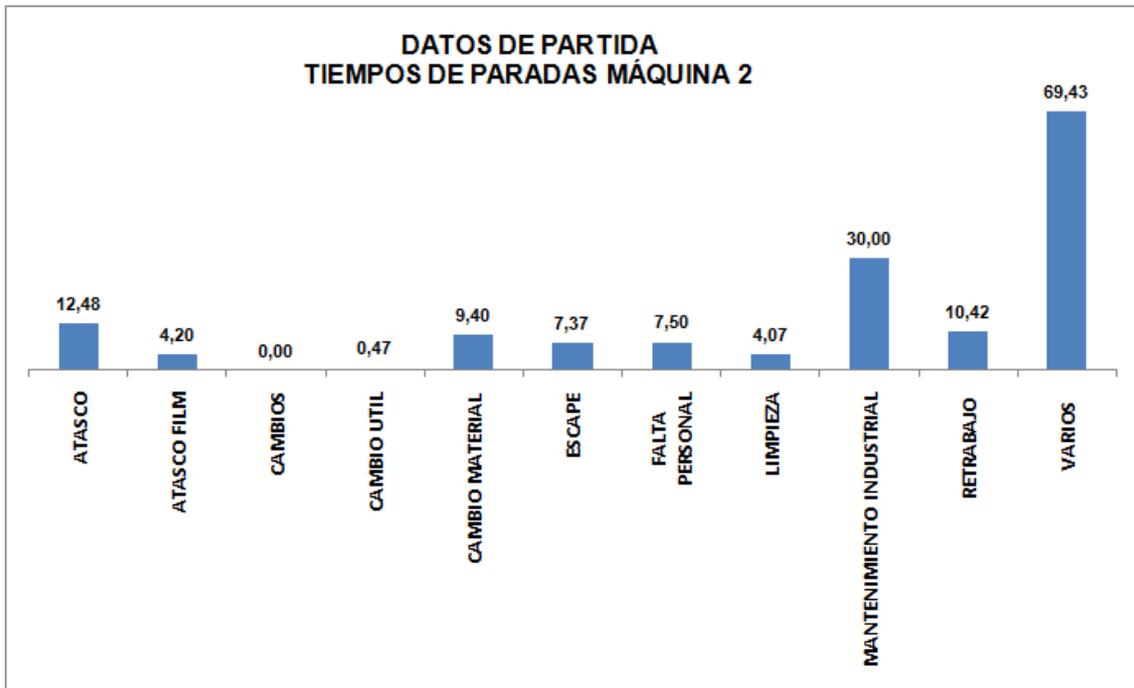


Fig.112.Datos iniciales de paradas en máquina 2.

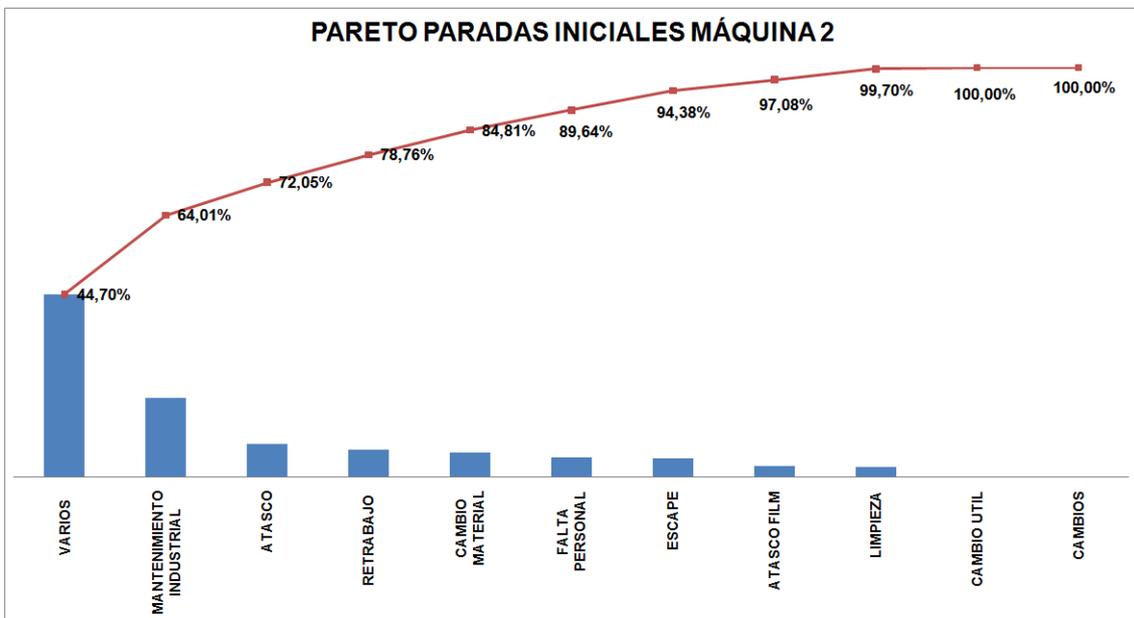


Fig. 113. Pareto de paradas máquina 2.

En este caso, al apartado "varios" es el que da tiempos de paradas más altos, y como hemos dicho, no da ninguna información. En la máquina 2 es muy importante dejar claro al personal que debe concretar al máximo la causa de la parada.

Los gráficos obtenidos dan una idea de las categorías que hay que crear para que los datos sean de utilidad. Se eliminarán las categorías que no registran paradas. Se crearán nuevos tipos de paradas con las ideas aportadas por los operadores de máquina y los comentarios recogidos en los registros acerca de las incidencias.

Además de estos últimos datos recogidos se tiene información tomada en años anteriores. Toda esta información facilita dar prioridad a problemas persistentes y a problemas importantes frente a otros de menor peso.

PERIODO	HORAS PARADAS / MES										FEBRERO/MARZO 2007 %	PRIORITY ACCIONES A TOMAR	
	TRIMESTRE 1 2005	TRIMESTRE 1 2005 %	TRIMESTRE 4 2005	TRIMESTRE 4 2005 %	SEMESTRE 1 2006	SEMESTRE 1 2006 %	FEBRERO/MARZO 2007	FEBRERO/MARZO 2007 %					
AVERIA	M1	77	12,3	30	4,8	26	4,2					PRIORIDAD 1	
	M2												PRIORIDAD 2
ATASCO	M1	23	3,7	30	4,8	23,8	3,8	2,5	0,8			PRIORIDAD 3	
	M2							12	3,8				PRIORIDAD 4
ESPERA UTIL	M1	23	3,7	105	16,8	45	7,2						PRIORIDAD 5
	M2												PRIORIDAD 6
LIMPIEZA	M1	23	3,7	18	2,9	12,6	2	3,4	1,1				PRIORIDAD 7
	M2							2,8	0,9				PRIORIDAD 8
ESCAPE	M1	15	2,4			17,6	2,8	5	1,6				
	M2							12,6	2				
FALTA OPERADOR	M1												
	M2							5,6	1,7				
FALLO CUTTER	M1					3,4	0,5						
	M2												
MANTENIMIENTO	M1							93				29,1	
	M2												
VARIOS	M1											0,8	
	M2							2,6					
REPOSICION MATERIAL	M1												
	M2							6				1,9	
RETRABAJO CAPAS	M1					3	0,5	7,8	1,7				
	M2							5,6	1,7				
		161	25,8	183	29,3	144	23	146,3	45,1				

Tabla 8. Priorización Acciones paradas máquina

El cambio o la espera del útil, el mantenimiento y las averías son las causas sobre las que hay que actuar de forma prioritaria.

La recogida de datos continua durante todo el desarrollo del proyecto ya que el objetivo de estos datos es el cálculo del OEE, indicador Lean.

4.3. DIAGNÓSTICO GENERAL

La siguiente parte del diagnóstico inicial de la situación consiste en la observación directa a nivel de planta. Es decir, el equipo se reunió en varias ocasiones, en algunas de ellas bajó al taller y la sala limpia a observar in situ la situación, en otras ocasiones se utilizó la herramienta "tormenta de ideas" para que todos los componentes del grupo aportaran sus ideas y conocimientos... En definitiva, se recogió la información necesaria para definir la situación existente en cuanto a:

- Orden y limpieza y gestión visual.
- Mantenimiento.
- Personal.
- Calidad.

A continuación se expone la situación concreta observada respecto de los puntos anteriores.

4.3.1. Orden y limpieza

Simplemente echando un vistazo rápido a la planta se observa desorden, desorganización y suciedad.

Debido a esto, el Lean Manager decide hacer un "workshop" para tratar el tema de las 5S's. El "workshop" se comienza en la sala de reuniones con una formación sobre la metodología de las 5S's.

Una vez que al equipo le ha quedado claro el concepto se pasa a la observación in situ en la sala limpia y el taller. Se hace un repaso sobre todo a las zonas de las máquinas, a la nevera de preimpregnados y en general a la sala limpia. El taller se deja en un segundo plano en esta primera sesión.

Se registran todo aquello que se considera necesario para crear las acciones de mejora. Los resultados de la observación directa son:

- No se señalizan carros de herramientas, mesas y puestos de trabajo, estanterías, puestos, cubos de residuos...
- Cajas de herramientas desordenadas.
- Herramientas, cajas, cajones... situados en zonas inapropiadas.
- Puestos de trabajo lejanos a las estanterías de materiales necesarios.
- Herramientas y tornillos de cambio de utillaje mezclados.
- Herramientas no identificadas con el programa al que pertenecen.
- Localización de las herramientas en lugares muy alejados de donde se utilizan habitualmente.
- Elementos obsoletos mezclados con elementos de uso diario.
- Suciedad en zonas de máquina (aceites, preimpregnados adhesivos...)
- Nevera desordenada y sin identificaciones.

4.3.2. Gestión visual y flujos de información

Este punto, está muy relacionado con el anterior, ya que la gestión visual busca hacer el trabajo más simple a través de órdenes visuales (orden, identificación, paneles informativos...).

Se observó que casi no existía gestión visual, no existen carteles informativos y prácticamente nada en la sala limpia tenía identificación y señalización. Aunque existían paneles, la información recogida en ellos era nula o antigua.

Sin hablar con el jefe de taller o algún trabajador es imposible acceder a información sobre la situación del proceso.

Además los trabajadores reciben toda la información a través de su responsable, es decir, no hay nada por escrito.

Todo esto genera una serie de problemas que generan mucho desperdicio de tiempo y material.

- Al ser los mensajes transmitidos oralmente se pierde información en el camino y puede haber malentendidos.
- Al no existir señalización las cosas no tienen un sitio fijo, por lo que se mueven continuamente generando un gran desperdicio por transporte innecesario.
- Si quien tiene la información no se encuentra será imposible que se transmita la misma.

4.3.3. Mantenimiento

El mantenimiento de las máquinas de laminado automático siempre es realizado por personal del departamento de mantenimiento o personal externo subcontratado, pero siempre es un mantenimiento correctivo o de urgencia debido a problemas surgidos durante la fabricación.

Los operarios de máquina no realizan ninguna tarea de mantenimiento, debido por una parte a falta de formación y por otra parte a la costumbre (siempre que hay algún problema se llama a mantenimiento).

Esto ocasiona grandísimas pérdidas de tiempo. El departamento de mantenimiento no acude instantáneamente al ser llamado ya que se encarga del mantenimiento de la planta al completo, por lo que la máquina está parada no solo el tiempo de reparación, sino también el tiempo de espera que suele

ser mayor. Si la avería ocurre durante el turno de noche, hay que esperar al día siguiente ya que mantenimiento trabaja a doble turno, no a triple como la máquina

Por otro lado, si existiera un plan de mantenimiento preventivo, muchas de las averías serían evitables.

4.3.4. Personal

Para implantar Lean es imprescindible que todo el personal esté implicado en el cambio y tenga una actitud positiva y proactiva.

En el área de materiales compuestos, aun siendo el trabajo muy poco repetitivo, parte de los operarios tienen la idea de que su labor no es pensar, sino ejecutar las órdenes de sus superiores sin más.

Es muy importante cambiar esa actitud y que el operario se sienta parte del proceso y sepa que sus ideas y puntos de vista son muy importantes para la consecución del objetivo de mejora.

Es imprescindible concienciar a los operarios de los beneficios que puede aportar la implantación de la filosofía Lean y crear un plan de formación no solo en aspectos técnicos del proceso productivo, sino en todo lo relacionado con la mejora continua y el Lean Manufacturing.

A partir de aquí, realizada la fase de diagnóstico y conocidos los problemas y sus causas, pasamos a la siguiente fase consistente en decidir que mejoras son necesarias, cuando hay que ejecutarlas y quien lo hará.

5. PROPUESTAS DE MEJORA

A partir de la información obtenida en la fase de diagnóstico se procede a definir una serie de acciones de mejora cuyos objetivos generales son:

- Reducir el "Lead Time"
- Aumentar las horas de disponibilidad de las máquinas "Fiber Placement"
- Reducir los costes
- Reducir la defectología

Aunque el objetivo del proyecto es mejorar el rendimiento de las máquinas de encintado automático, muchas de las mejoras están enfocadas a la mejora del área de materiales compuestos en general, pero también influirán en la productividad de las máquinas.

Las distintas mejoras se organizan en pequeños proyectos llamados "Project Charter". Cada uno de estos engloba una serie de acciones de mejora que se aplican en el mismo campo o tienen el mismo objetivo general.

5.1. PROJECT CHARTER 1. MEJORA CONTINUA

El primer "Project Charter" es el que establece la política de mejora continua del departamento de Composites en general y más concretamente del área de "Fiber Placement".

Este proyecto se enmarca dentro de la política de mejora continua de la empresa, y su desarrollo es una forma de control y seguimiento a la misma desde la dirección de la organización.

Project Charter 1. Hoja de Definición			
DESCRIPCIÓN	MEJORA CONTINUA		
EQUIPO DE TRABAJO	NOMBRE	DEPARTAMENTO	CARGO
LEAN MANAGER	-	Composites	Resp. Producción
COMPONENTES	-	Composites	Jefe Taller
	-	Composites	Operario Lay-up manual
	-	Composites	Operario FP
	-	Composites	Operario Autoclave
	-	Calidad Composites	Resp. Calidad
	-	Calidad Composites	Verificador
	-	Ing. Composites	Programación FP
			Composites
OBJETIVO	KPI	ACTUAL	OBJETIVO
	Productividad	-	Aumentarla un 7,5%
	Disponibilidad FP	5548 H/año	Aumentarla 20H
ACCIONES Y DEDICACIÓN			
Lanzamiento Plan Acciones	Continuo.		
Seguimiento Plan Acciones	Continuo.		
Formación en mejora continua	1	Día	
Establecer política de reuniones periódicas	1	Día	
Implantar reuniones de mejora continua	1	Mes	
Implantar desarrollo y distribución de actas	1	Mes	
Seguimiento política reuniones	2	Mes	

Tabla. 9. Project Charter "MEJORA CONTINUA"

5.1.1. PROPUESTA DE MEJORA 1. Lanzamiento Plan Acciones

La primera acción tomada al comenzar el desarrollo de este proyecto es planificar una reunión con el equipo de trabajo con objetivo de analizar desde todos los puntos de vista los desperdicios existentes en el área de "Fiber Placement" y crear un "Plan de oportunidades y acciones" con sus respectivos plazos y responsables.

Como se dijo, la base de la mejora continua es la aplicación del ciclo Kaizen (Planificar, Hacer, Verificar, Actuar). En nuestro caso:

- Crear Plan de acciones
- Llevar a cabo las tareas planificadas en el plan.
- Verificar el cumplimiento.
- Actuar en consecuencia.

Es muy importante la implicación del personal que conoce mejor el proceso de optimizar, es decir, crear "Grupos de Mejora". En el caso que nos ocupa, los componentes del grupo de mejora se muestran en la tabla de definición del "*Project Charter*". Este grupo de mejora está formado por las mismas personas que el equipo Lean.

Todas las personas que pertenezcan al equipo de trabajo deben recibir formación en:

- Herramientas que se van a utilizar en las sesiones de trabajo.
- Filosofía Lean.
- Mejora continua.
- Trabajo en equipo.
- Etc.

Es imprescindible esta formación previa al desarrollo de los proyectos de mejora para asegurar el buen funcionamiento de los equipos y el desarrollo óptimo de las mejoras.

En general un grupo de mejora debe estar formado por los profesionales que están implicados en las áreas a evaluar y mejorar. Estas personas son las que conocen mejor los problemas y están más interesadas en solucionarlos ya que les afecta en su trabajo diario. El grupo de mejora se encarga de analizar, identificar y priorizar los problemas y sus causas y de proponer soluciones y cambios.

5.1.1.1. Detección de desperdicios y problemas

La primera parte de la reunión se centra en el análisis del proceso de preparación de máquina para el laminado.

En primer lugar, el equipo genera el diagrama de flujo del proceso a analizar (preparación de máquina). Este diagrama se seguirá para analizar cada parte del proceso por separado.

En el diagrama, que se muestra en la página siguiente, se detallan paso a paso todas las tareas a ejecutar para preparar la máquina para el laminado automático.

Las operaciones sombreadas son las que requieren que la máquina esté parada para ejecutarse. El resto de las operaciones pueden hacerse mientras que la máquina lamina en la estación que no se está preparando.

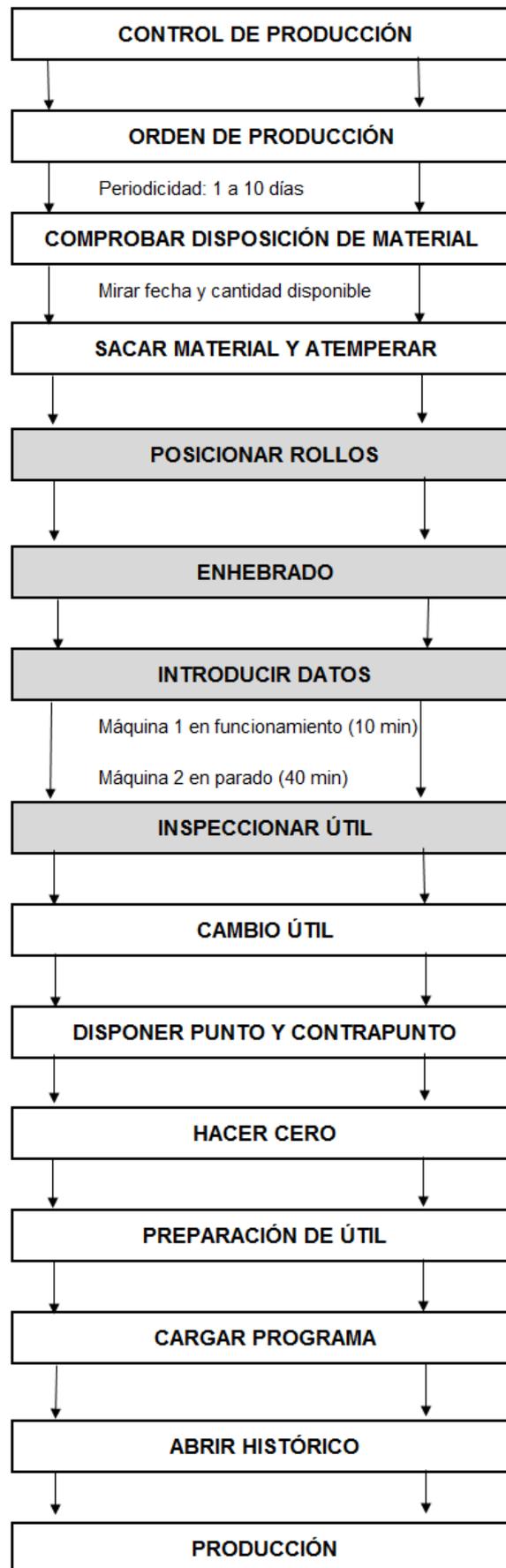


Fig. 114. Diagrama de flujo "Preparación de máquina".

Una vez creado el diagrama de flujo, se organiza una tormenta de ideas para sacar el máximo de desperdicios existentes en esta parte del proceso. El "Lean Manager" es el conductor de la sesión y la estructura de forma que se estudia cada parte del proceso de forma independiente. Cuando el conductor considera oportuno, se pasa al siguiente punto, y así hasta analizar el diagrama completo.

El "Lean Manager" recoge todas las ideas surgidas para posteriormente registrarlas en el acta de la reunión.

A continuación se enumeran los desperdicios y problemas detectados por los miembros del equipo.

A. DOCUMENTACIÓN.

- No siempre está planificado con tiempo el trabajo de máquina.
- Las ordenes de producción (OP), sobre todo de las piezas de desarrollo (ensayos), tienen carencias en la información suministrada.
- La máquina trabaja a triple turno, por lo que hay momentos en los que el operario no tiene a quien acudir si surgen problemas o falta información, ya que ingeniería no está.

B. MATERIALES.

- La búsqueda del material en la nevera requiere de tiempos muy altos debido al desorden de la misma, a la existencia en ella de material no valido (caducado, obsoleto...).
- La OP no siempre indica el material a utilizar.
- El tamaño de las bobinas supone un problema, ya que tienen mucho material por lo que a menudo los últimos metros de la bobina no puede utilizarse por estar caducada.

- El camino entre la nevera y el puesto de máquina siempre está lleno de obstáculos.
- Las bobinas se llevan a los puestos de máquina manualmente.

C. MONTAJE Y ENHEBRADO DE BOBINAS EN MÁQUINA.

- Los datos de las 32 bobinas hay que meterlos a mano. En la máquina 1 no hay lector de código de barras y en la máquina 2 lo hay pero no está habilitado.
- El montaje y enhebrado de bobinas en la máquina 2 tiene un sistema que complica y alarga mucho el proceso.
- El tiempo de montaje y enhebrado es muy alto en ambas máquinas y lo realiza un solo operario.
- Para las 4 estaciones hay un solo ordenador que está en la máquina 1, concretamente al lado de la estación 1. Para generar algún tipo de documentación (registro de paradas, hoja de identificación del material...) el operario debe parar la máquina ya que no puede vigilarla mientras lamina (a excepción de la estación 1) por la distancia con el ordenador.

D. MONTAJE ÚTIL.

- Cambiar la interfaz del punto y contrapunto es peligroso ya que no cuentan con elementos de cogida para las eslingas.
- El montaje del útil es muy complejo por problemas con el puente grúa y el centro de gravedad del útil.
- Las herramientas que se utilizan para apretar los tornillos no son las adecuadas. Además de alargar el tiempo de cambio, al apretarlos manualmente, nunca se sabe con certeza si se han apretado del todo.
- Existen tornillos para el mismo útil con diferentes cabezas.
- Pudiéndose hacer esta operación con la máquina trabajando, al haber un único operario de máquina, hay que pararla ya que no puede seguir el laminado y cambiar el útil a la vez.

5.1.1.2. Priorización

Una vez que se tienen identificados los desperdicios, en primer lugar hay que priorizarlos para posteriormente definir posibles soluciones de los problemas prioritarios.

La priorización se hace en base al impacto de cada problema y al control que se tenga sobre cada uno de ellos. Se darán prioridades a cada desperdicio identificado según el gráfico siguiente.

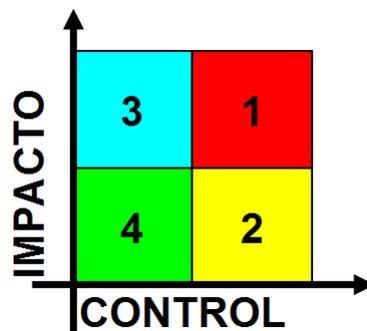


Fig. 115. Gráfico de priorización

De cada problema se analiza si el impacto que tiene sobre el proceso global es significativo o no y si el control que se tiene sobre él para eliminar su efecto es alto o bajo. Se colocan en el gráfico y se les da:

- **PRIORIDAD 1.** Alto impacto y control alto. Es decir, de una manera relativamente sencilla podemos eliminar el efecto del problema, el cual genera grandes desperdicios en el proceso. Son los primeros que hay que eliminar.
- **PRIORIDAD 2.** Bajo impacto y control alto. Aunque el efecto del problema no sea muy significativo, al tener mucho control sobre el desperdicio no será complicado minimizar su efecto.

- **PRIORIDAD 3.** Alto impacto y control bajo. Es necesario actuar sobre estos despilfarros por su significativo efecto, pero hay que tener en cuenta que será una tarea que requiera grandes esfuerzos.

- **PRIORIDAD 4.** Bajo impacto y bajo control. Son despilfarros que tienen poco efecto negativo y sobre los que es complicado actuar, por lo que tendrán la prioridad más baja.

Para cuantificar el impacto y el control de cada despilfarro se ordenan y clasifican los mismos, se seleccionan diferentes parejas de problemas y se comparan entre ellos. Esta comparación de pares se repite tanta veces como sea necesario hasta valorar todos los despilfarros encontrados.

DOCUMENTACIÓN
Falta de planificación
Falta de información en OP
No siempre hay apoyo de ingeniería y no hay a quien acudir por falta de información o si surgen problemas

MATERIALES
Nevera desorganizada.
No siempre está el material a usar en la OP
Tamaño de bobinas problemático
Camino entre nevera y puesto de máquina lleno de obstáculos
Transporte de rollos entre nevera y máquina manual

MONTAJE Y ENHEBRADO DE BOBINAS
Hay que introducir datos de bobina manualmente
Sistema de anclaje de bobinas en máquina 2 complicado
Tiempo de montaje y enhebrado muy alto
Sólo hay un ordenador al lado de la máquina 1 por lo que hay que parar la máquina ya que no se puede introducir datos y vigilar la máquina a la vez (excepto en estación 1 por proximidad)

MONTAJE DEL ÚTIL
La operación de cambiar la interfaz es peligrosa.
Problemas con puente grúa y centro de gravedad del utilaje
Herramientas no adecuadas para apretar los tornillos
Existen 3 cabezas distintas para los tornillos del mismo útil
Pudiéndose hacer esta operación con la máquina trabajando, se para porque hay un solo operario de máquina por turno

Fig. 116. Priorización de desperdicios.

Se observa que el bloque de montaje de útil no se ha priorizado. Esto se debe a que se decide en la sesión que se tratará de forma independiente a través de un Project Charter concreto.

5.1.1.3. Plan de acciones

Una vez que sabemos sobre qué problemas vamos a, hay que buscar su causa y acciones para solucionarlos. Para encontrar la causa, aunque la intuición puede ayudar, es necesario utilizar métodos como el diagrama de pescado y el de Pareto.

Conocidas las causas, hay que buscar las soluciones de las mismas. Si ponemos la atención en el problema, no acabaremos con él definitivamente, solo por un tiempo. Pero si solucionamos la causa, el problema se elimina completamente.

Mediante la tormenta de ideas se genera un listado de posibles soluciones a cada causa y problema que el coordinador ("Lean Manager") recoge. Pero de todas las soluciones propuestas, si es que aparece más de una, hay que decidir cuál es la óptima.

Esto se hace en base a una serie de criterios, como son:

- Eficacia sobre la causa y el problema.
- Inversión
- Relación entre la inversión y el beneficio o ahorro que se obtendría.
- Tiempo de implantación.

Una vez que se seleccionan las soluciones hay que implantarlas. Para ello se crea el Plan de Acciones que recoge las actividades a realizar para implantar las soluciones, los responsables de las mismas, los plazos de ejecución y fechas de seguimiento.

Aplicación de las herramientas de "Lean Manufacturing" en el área de Fiber Placement de una planta aeronáutica.

PLAN DE ACCIONES					FECHA ACTUALIZACIÓN:			OBSERVACIONES	
Oportunidad	Proyecto	Acción	Revisión de Procesos Productivos	RESPONSABLES		Pendiente	En curso		Terminado
				Resp.	Grupo	FECHAS			
						Inicio	Fin		Revisión
BLOQUE I									
ORDEN DE PRODUCCIÓN									
X			Los operarios de la máquina no siempre conocen la planificación						
		X	Aplicación de paneles informativos					Se tratará en proyecto de House-Keeping	
X			Piezas de desarrollo. Suele haber falta de información en la Orden de Producción						
X			No siempre hay apoyo de ingeniería. No hay a quien acudir por falta de información. (También ensayos)						
		X	Planificar reunión con ingeniería.			30-abr-07	30-abr-07	-	
		X	Mejorar documentación de trabajo			30-abr-07	30-may-07	15-may-07	
BLOQUE II									
MATERIALES									
X			Buscar material en nevera. Materiales usados, caducados o recalificados						
		X	Organizar nevera			29-mar-07	31-may-07	15-abr-07	
X			La OP no siempre muestra el material a usar						
		X	Optimizar el tamaño de bobina y fecha, así como de la caducidad y fecha del lote			19-abr-07	30-may-07	30-abr-07	
X			Camino entre nevera y puesto de máquina lleno de obstáculos					Se tratará en proyecto de House-Keeping	
BLOQUE III									
INTRODUCCIÓN DE DATOS									
X			Sólo hay un ordenador al lado de la máquina 1. No se pueden introducir datos y vigilar la máquina a la vez. En la máquina 1 es posible introducir los datos mientras se lamina, pero no en la máquina 2, que tiene que estar parada						
		X	Colocar el ordenador en otra situación intermedia o poner uno en cada máquina			19-abr-07	30-may-07	30-abr-07	
X			Hay que introducir datos de bobina a mano porque aunque en la máquina 2 hay lector de código de barras, no lo tenemos habilitado						
		X	Contactar con proveedor para solicitar entrega de material con código de barra adecuado para el lector.			26-abr-07	30-may-07	10-may-07	
		X	Montar el lector de código de barras en M1			26-abr-07	30-may-07	10-may-07	
BLOQUE IV									
MONTAJE Y ENHEBRADO									
X			Llevar los rollos a mano a la zona de carga de la máquina						
X			Sistema de anclaje de rollos más lento en la máquina 2						
		X	2 operarios para posicionar los rollos			10-may-07	15-jun-07	30-may-07	
		X	2 operarios para enhebrar las mechas			10-may-07	15-jun-07	30-may-07	
X			Reducir tiempo de enhebrado de mechas						
		X	Reunión mejora tiempo de carga/descarga material			10-may-07	10-may-07	-	
BLOQUE V									
MONTAJE ÚTIL									
X			La operación de cambiar la interfaz es peligrosa.					Se hará un proyecto independiente para este bloque.	
X			Problemas con puente grúa y centro de gravedad del utillaje						
X	X		Herramientas no adecuadas para apretar los tornillos						
X			Existen 3 cabezas distintas para los tornillos del mismo útil						
X			Pudiéndose hacer esta operación con la máquina trabajando, se para porque hay un solo operario de máquina por turno						

Tabla 10. Plan acciones inicial

Este es el primer plan de acciones que se lanza. Este documento debe estar "vivo", ya que las acciones tienen fechas de revisión para su seguimiento. Durante el desarrollo del proyecto se incluirán nuevas acciones que puedan surgir, se modificarán fechas por posibles retrasos... Se harán revisiones quincenales del plan, por lo que cada 2 semana se creará una nueva revisión del mismo.

Como se ve, se distingue entre las oportunidades de mejora (problemas, desperdicios detectados...), las tareas para solucionar las causas de los despilfarros y los proyectos independientes que van a llevarse a cabo.

En nuestro caso, al lanzar el primer plan de acciones ya se detecta la necesidad de 2 "Project Charter" nuevos, el "*House-Keeping*" y el de cambio de útil. A lo largo del proyecto aparecerán nuevas necesidades y se incluirán nuevos proyectos y acciones.

5.1.2. PROPUESTA DE MEJORA 2. Formación

La organización objeto de este proyecto lanza anualmente un plan de formación que se encuadra dentro de su cultura de mejora continua, por ser uno de los pilares básicos de la misma.

Este plan de formación venía desarrollándose con el único objetivo de solucionar carencias momentáneas. Por otro lado, no se estudiaban a fondo las necesidades reales de formación y se decidían las acciones formativas de forma ajena al trabajador. Por ello el interés y la satisfacción de los trabajadores con el plan formativo era prácticamente nula.

Por otro lado, la mayoría del personal no conocía nada sobre Lean Manufacturing a no ser que hubiese estado implicado en algún proyecto o grupo lean (eran los menos).

La dirección detectó la inminente necesidad de formar a todo el personal de la planta en la filosofía Lean, ya que es imprescindible que todos la conozcan para poder participar en ella, y como sabemos, sin la implicación de todos los componentes de la organización es imposible implantar la metodología.

Por ello, se decide que el grupo Lean, con el apoyo del "Lean Manager", proponga una serie de acciones formativas relacionadas con la filosofía Lean y las herramientas que se van a utilizar para el desarrollo del proyecto.

Por ser este tema competencia directa del departamento de RR.HH. el equipo Lean lo presenta al mismo, para que lo aprueben y completen si es necesario. El grupo Lean no entra a estudiar necesidades formativas más allá del Lean Manufacturing. Las acciones formativas que se deciden desarrollar son:

A. FILOSOFÍA LEAN MANUFACTURING.

El objetivo es que conozcan los conceptos básicos y sobre todo la importancia de su implicación (100 H).

- Qué es el sistema de fabricación Lean.
- Proyectos LEAN definidos en su entorno de trabajo.

B. HERRAMIENTAS LEAN.

Se exponen las herramientas más importantes y que serán aplicadas en su entorno de trabajo (200 H).

- 5S's
- Gestión visual
- SMED
- Mantenimiento autónomo

5.1.3. PROPUESTA DE MEJORA 3. Definir "Project Charter" necesarios

En la siguiente sesión de trabajo, el grupo Lean tiene como objetivo definir nuevos "Project Charter" necesarios para solucionar problemas, tanto de la parte del proceso ya estudiada (preparación de máquina) como del resto del proceso productivo. Algunos de estos proyectos independientes, están definidos por la dirección de la organización (como el de mejora continua) y otros surgen del análisis desarrollado (por ejemplo, el de cambio de útil).

Todos los proyectos a desarrollar avanzan paralelamente, es decir, no se espera a finalizar uno para comenzar otro.

La dirección además del proyecto de mejora continua, detecta la necesidad de desarrollar un proyecto de "House-Keeping". Dentro del mismo se desarrollará en el área de composites (no solo en la parte de laminado automático) la implantación de la gestión visual y el método de las 5S's. Esta necesidad se refuerza con la detección en la etapa de diagnóstico de la situación de desorden y suciedad observada en el área.

Por parte del equipo Lean de composites, ya en la primera sesión de desarrollo del proyecto de mejora continua, se observa la necesidad de dedicar un "Project Charter" independiente a la mejora del rendimiento de las máquinas de *Fiber Placement*.

Esta necesidad es detectada por los datos obtenidos de paradas de máquina.

En ellos se observa que los tiempos de cambios de utillaje son demasiados altos. Además a los desperdicios de esta parte del proceso se les dio prioridad 1, por lo que hay que actuar sobre ellos rápidamente.

Observando de nuevo los datos recogidos en la etapa de análisis sobre las paradas de máquina se observa que existen muchas paradas debidas a

averías y a mantenimiento. Surge por ello la necesidad de un proyecto que se centre en tratar el tema de mantenimiento.

El "Lean Manager" propone que dentro del último proyecto (mejora del rendimiento de las máquinas) se desarrollen otros talleres de trabajo enfocados a acabar con estos últimos desperdicios:

- **SMED.** La idea es reducir al máximo los tiempos de cambio de utillaje en las máquinas laminadoras.

- **MANTENIMIENTO AUTÓNOMO.** Se busca que el operario se encargue de su equipo realizando tareas de mantenimiento. El objetivo es evitar las esperas innecesarias al personal del departamento de mantenimiento y la realización de tareas rutinarias que evitan averías y alargan la vida de los equipos.

- **AUTONOMATIZACIÓN.** Consiste en hacer que la máquina detecte ciertos fallos y pare de forma automática. Hasta el momento del desarrollo del proyecto, las máquinas FP necesitan que alguien las vigile constantemente para pararlas si ocurre algo extraordinario, y así evitar males mayores.

Hay que destacar de la automatización que es una oportunidad que se plantea a largo plazo, por lo que durante el desarrollo del presente proyecto no se llega al final del mismo, pero se comienza a desarrollar.

5.1.4. PROPUESTA DE MEJORA 4. Creación de círculos de calidad

La implicación de todo el personal en la implantación de la filosofía Lean es un principio básico. Sin el cumplimiento del mismo el desarrollo del proyecto no será el óptimo ya que es imprescindible la participación de todos para definir mejoras, ejecutarlas y hacerles el seguimiento.

La idea básica de los Círculos de Calidad consiste en crear conciencia de calidad y productividad en todos y cada uno de los miembros de una organización, a través del trabajo en equipo y el intercambio de experiencias y conocimientos, así como el apoyo recíproco. Todo ello, para el estudio y resolución de problemas que afecten el adecuado desempeño y la calidad de un área de trabajo, proponiendo ideas y alternativas con un enfoque de mejora continua.

Un Círculo de Calidad es un pequeño grupo de personas que se reúnen de forma periódica, para detectar, analizar y buscar soluciones a los problemas que se suscitan en su área de trabajo.

5.1.4.1. Reuniones periódicas

Para que esta propuesta se convierta en una práctica común de la organización es necesario establecer la política de trabajo del Círculo de Calidad antes de implantarla. El funcionamiento de estos grupos se basará en reuniones periódicas.

Para ello hay que definir la periodicidad, los asistentes, la duración y los temas a tratar. La dirección define a grandes rasgos estos parámetros, pero son los responsables de área junto al grupo Lean quienes los establecen.

La operativa de los Círculos de Calidad se definió de la siguiente manera:

Reuniones diarias. Reuniones a nivel de taller. Los operarios junto al jefe de taller se reúnen diariamente al comienzo de cada turno durante unos 10 minutos para identificar problemas, analizarlos y presentar posibles soluciones. Todo debe quedar registrado en acta.

Las primeras sesiones serán más lentas, pero una vez que se entre en la dinámica, cada vez serán más productivas y cortas.

Reuniones semanales: El jefe de taller y los responsables de las distintas zonas del área de composites se reúnen con el responsable del área de composites para mostrarle las ideas de mejora, las carencias y problemas recogidos durante las reuniones diarias. Estas reuniones duraran entre 30 y 45 minutos.

Se estudian y discuten las propuestas, se evalúan y se decide si pueden ser puestas en práctica o no. Si la decisión es favorable, se presenta a la dirección un planteamiento viable, estructurado y documentado y un plan para ejecutar la propuesta de forma que pueda ponerse en marcha con la mayor brevedad posible. También en este caso todo debe recogerse en acta.

Para las actas de las reuniones se crea un formato estándar que debe quedar perfectamente relleno tras cada reunión.

El grupo que forma el Círculo de Calidad debe recibir impulso y motivación por parte del líder y del "*Lean Manager*" para que se trabaje con fuerza y con el claro objetivo de la mejora continua.

5.1.4.2. Sugerencias de mejora

A la vez que los Círculos de Calidad se propone la creación de un tablón de sugerencias de mejora.

Una sugerencia de mejora es una oportunidad de mejora o una desviación detectada por algún trabajador. La idea es que todas queden recogidas y sean analizadas.

Para ello se crea el "Impreso de propuesta" y se destina una parte de un tablón del área a las sugerencias de mejora. El impreso debe ser relleno por el operario y colocado en el tablón. Un componente del grupo Lean recoge los informes diariamente y en cada sesión de trabajo del grupo, se revisan y

analizan todas, para incluir en los planes de mejora aquellas que sean viables y tengan efecto positivo en el proceso.

SUGERENCIA DE MEJORA DESVIACIÓN			
OPERARIO		AREA	
FECHA		P/N	
DESCRIPCIÓN			
AHORROS / COSTES			
HORAS			
MATERIAL			
OTROS			

Fig. 117. Impreso de propuesta

5.2. PROJECT CHARTER 2. "HOUSE-KEEPING"

El presente "Project Charter" desarrolla la implantación en el área de composites de la metodología de las 5S's y la gestión visual.

Project Charter 2 Hoja de Definición			
DESCRIPCIÓN	HOUSE-KEEPING: Gestión visual y 5S's.		
EQUIPO DE TRABAJO	NOMBRE	DEPARTAMENTO	CARGO
LEAN MANAGER	-	Composites	Resp. Producción
COMPONENTES	-	Composites	Jefe Taller
	-	Composites	Operario Lay-up manual
	-	Composites	Operario FP
	-	Composites	Operario Autoclave
	-	Calidad Composites	Resp. Producción
	-	Calidad Composites	Verificador
	-	Ing. Composites	Programacion FP
	-	Composites	Tec. Cont. Producción
OBJETIVO	KPI	ACTUAL	OBJETIVO
	Productividad	-	Aumentarla un 5 %
	Disponibilidad FP	5548 H/año	Aumentarla 100H anuales
ACCIONES Y DEDICACIÓN			
Formación en 5S y Gestión Visual		1	Día
Implantacion 5S		2	Mes
Implantacion Gestión Visual		1	Mes
Seguimiento		Continuo	

Tabla 11. Project Charter "HOUSE-KEEPING"

El "House-Keeping" hace referencia al mantenimiento del orden, la limpieza y la organización en las empresas. Para desarrollar este proyecto es necesario hacer uso de 2 herramientas muy importantes en Lean, las 5S's y la gestión visual.

5.2.1. PROPUESTA DE MEJORA 5. Implantación metodología 5S's

Como ya se ha dicho esta metodología es una técnica de gestión cuyo objetivo es hacer del lugar de trabajo un entorno ordenado y limpio, crear el hábito y la disciplina para mantenerlo y hacer que los procesos estén estandarizados.

Este método toma su nombre de las 5 fases del mismo (en japonés):

- **Seiri** → Clasificar
- **Seiton** → Ordenar
- **Seiso** → Limpiar y mantener
- **Seiketsu** → Estandarizar
- **Shitsuke** → Disciplina y hábito

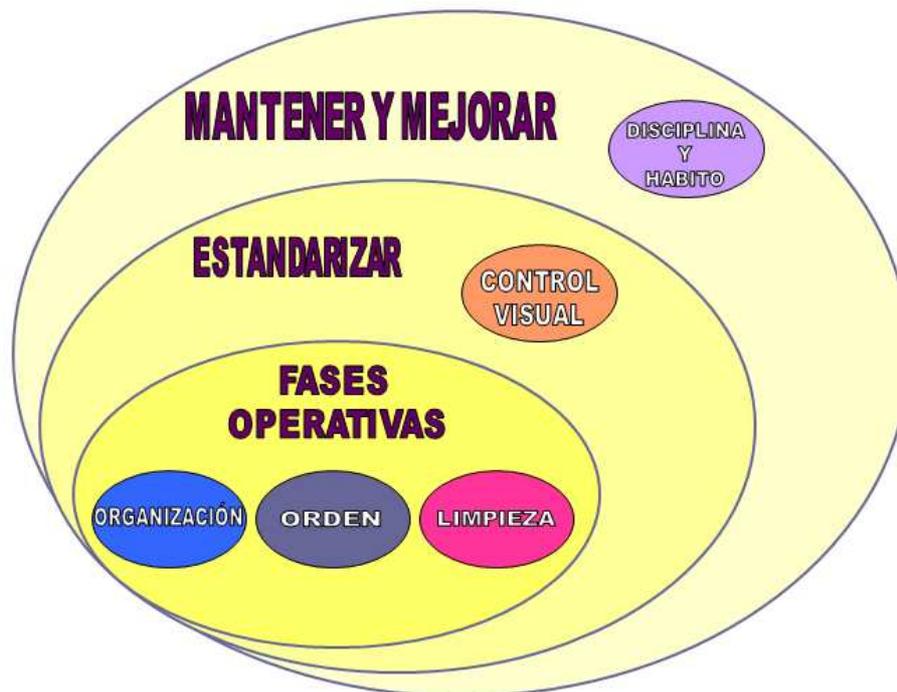


Fig. 118. Fases del método 5S's

Las 3 primeras fases son las fases operativas, mientras que las 2 últimas establecen las bases para el mantenimiento de lo conseguido en las anteriores.

El orden y limpieza de una empresa es un indicador de la implicación del personal y la organización en la cultura de mejora continua. La idea no es estar diariamente ordenando y limpiando, sino llegar a una rutina en la que el orden y la limpieza se mantengan.

No es solo una cuestión de estética y de eliminar tiempos de búsquedas, también afecta a la eficiencia de los procesos. La falta de organización en las áreas de trabajo facilita la aparición de defectos y averías, aumenta el nivel de stock...

Un taller 5S's mejora la ergonomía y la seguridad del trabajador, hace que el personal se motive e implique en la mejora continua, crea disciplina, optimiza el espacio, facilita el flujo continuo y estandariza el trabajo diario haciéndolo más sencillo y ágil.

Previamente al inicio de la implantación se reparten en el taller unas encuestas sobre organización y limpieza con 2 objetivos, el primero es que los trabajadores tomen conciencia de la situación que los rodea y el segundo recoger las impresiones del personal y tener un dato de la situación de partida.

ENCUESTA INICIAL IMPLANTACIÓN 5S's		
DESCRIPCIÓN	SI	NO
Hay material acumulado en las áreas de trabajo.		
Hay material innecesario en las áreas de trabajo.		
Falta material necesario en las área de trabajo.		
La suciedad causa trabajos mal hechos.		
Todo lo necesario para el trabajo diario está accesible.		
Todo lo necesario para el trabajo diario está ordenado.		
Los desperdicios se tiran a los contenedores adecuados		
Tu área de trabajo está limpia y ordenada.		
El resto de áreas de trabajo estan limpias y ordenadas.		
Hay recursos necesarios para mantener todo ordenado y limpio.		
¿QUÉ TE DESAGRADA DE TU ÁREA DE TRABAJO?		
<hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>		
¿QUÉ MEJORARÍAS DE TU ÁREA DE TRABAJO?		
<hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>		

Fig.119. Encuesta situación inicial orden y limpieza

En la primera sesión del taller el "Lean Manager" impartió formación sobre 5S's a todo el equipo Lean. Expuso los beneficios de su implantación, las fases y los pasos de cada fase, con la idea de comenzar la implantación en la siguiente sesión.

A continuación se decide la zona piloto donde se va a implantar la metodología. Esta zona piloto debe ser representativa del área completa, debe

estar claramente delimitada y separada del resto y es importante que tenga altas carencias de orden y limpieza.

Todo esto unido a que el proyecto lean actual se centra en las máquinas de laminado automático hacen que sea el área de máquinas FP la zona seleccionada.

El método consta de 5 fases perfectamente diferenciadas. Al finalizar una hay que cerciorarse de que se ha hecho todo de forma correcta mediante una pequeña auditoría interna. Esto se repite tras cada una de las 5 fases.

5.2.1.1. Clasificación (Seiri)

SEPARAR LO NECESARIO DE LO INNECESARIO Y ELIMINAR LO INÚTIL

En esta primera etapa lo que se busca es distinguir los materiales necesarios e innecesarios del área de trabajo y retirar de la zona de trabajo lo que no sea de utilidad. Además se crea un inventario de todos los elementos clasificados (tanto los que sirven como los que no).



Fig. 120. Secuencia implantación 1ª S

El equipo al completo baja a la zona piloto (zona de máquinas) y físicamente se encargan de diferenciar los tipos de elementos que existen en la zona:

Material innecesario. Son los elementos que no se utilizan en el área de trabajo y que no se prevé usar en el plazo de un mes. Es decir, lo que no tiene uso, lo que se usa pero en otras zonas y lo que se tiene en cantidades superiores a lo necesario. Además hay que eliminar desechos, materiales en mal estado u obsoletos, basuras...

Material necesario. Elementos que con seguridad van a ser utilizados en el futuro y a menudo en la zona piloto.

Material dudoso. Aquellos elementos que no se sabe con seguridad si van a ser utilizados o no. Para estos materiales se crea la "zona de cuarentena" y se utilizan las "tarjetas rojas" para identificarlos en las que se recoge información sobre el elemento dudoso.

La zona de cuarentena se sitúa en la parte de atrás de la máquina 1. Allí se llevarán todos los materiales dudosos una vez que están etiquetados.

Al llevar los materiales dudosos a la zona de cuarentena hay que evitar el "por si acaso". Lo único que no debe etiquetarse es lo totalmente innecesario (ya que se elimina) y lo totalmente necesario para el trabajo en el lugar que ocupa actualmente. Una gran cantidad de tarjetas rojas es una buena señal.

TARJETA ROJA N° _____	
AREA	_____
ZONA PILOTO	_____
FECHA	_____
ELEMENTO	_____
CANTIDAD	_____
MOTIVO DE DESECHO DEL ELEMENTO	

Fig. 121. Tarjeta Roja materiales zona cuarentena.

En la zona de cuarentena todo debe estar etiquetado y permanecerá como máximo un mes. Si pasado este tiempo no se ha utilizado pasa a ser material innecesario.

Tras la clasificación se realizan actividades como reparación de desperfectos, pintado de zonas en mal estado... para sanear la zona.

Durante el desarrollo de la fase hay que dejar registrado todos los materiales que se han revisado. Para ello se crean 3 listas, una para cada tipo de elementos.

IMPLANTACION 5S's 1ª S. CLASIFICACIÓN				
LISTADO DE ELEMENTOS NECESARIOS				
Nº	ELEMENTO	CANTIDAD	USO	OBSERVACIONES
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				

Tabla 12. Listado elementos necesarios

IMPLANTACION 5S's 1ª S. CLASIFICACIÓN				
LISTADO DE ELEMENTOS INNECESARIOS				
Nº	ELEMENTO	CANTIDAD	RAZÓN PARA ELIMINAR	OBSERVACIONES
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				

Tabla 13. Listado elementos innecesarios

IMPLANTACION 5S's 1ª S. CLASIFICACIÓN				
LISTADO DE ELEMENTOS DUDOSOS				
Nº	ELEMENTO	CANTIDAD	FECHA ENTRADA	OBSERVACIONES
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				

Tabla 14. Listado elementos en zona de cuarentena

Se elabora un plan para retirar los elementos innecesarios. En primer lugar se separan los que pueden servir para otras áreas o usos y se donan o venden. Los que están obsoletos o no valen se eliminan directamente.

A partir de aquí el personal debe tomar el compromiso de mantener cada avance que se haga en cuanto a orden y limpieza.

5.2.1.2. Orden (Seiton)

UN SITIO PAR CADA COSA Y CADA COSA EN SU SITIO

En primer lugar, al inicio de la segunda fase se audita la anterior. Si no se pasa este punto, debe revisarse la 1ª S.

En nuestro caso se pasó a la aplicación de la 2ª S, que consiste en la organización de todos los elementos, es decir, buscar un sitio fijo para cada cosa de forma que se pueda acceder a todo fácilmente. Además de ordenarlos, hay que identificarlos y etiquetarlos.

Los elementos hay que ordenarlos según su frecuencia y zona de uso, de forma que lo que más se utilice sea lo que está más a la mano. De esta forma el trabajador encuentra fácilmente lo necesario para desarrollar su trabajo y puede devolverlo a su sitio una vez que no lo necesite también de forma sencilla. Además, cuando falte algo se identificará inmediatamente con un simple vistazo por no estar en su sitio y la apariencia del area de trabajo será mucho mejor.

Para organizar es necesario conocer los elementos (y sus cantidades) necesarios en cada puesto de trabajo y la frecuencia de uso. Es importante tener en cuenta la generación de desperdicios para proveer a los puestos de trabajo de contenedores para los mismos.

En esta etapa va a ser necesario el uso de estanterías, carros de herramientas, cajas... es decir, todo lo que pueda facilitar la organización de elementos de diversos tamaños, formas, usos...



Fig. 122. Criterios de ordenación

En la primera sesión de trabajo par a implantación de la 2ª S, lo primero que hace el equipo Lean es bajar al taller y listar todas las actuaciones que se consideran necesarias (identificaciones, estanterías, carros de herramientas, contenedores de desperdicios...).

Con estas necesidades claras, el equipo se reúne para priorizar las actuaciones y lanzar tareas concretas a realizar. También en esta reunión se discute la ubicación definitiva de cada elemento definido como necesario.

En estas sesiones se vio la necesidad de ordenar además del área de máquinas zonas como la nevera de material refrigerado. A continuación se muestran detenidamente las acciones llevadas a cabo.

A. ORGANIZACIÓN DE LA NEVERA

Inicialmente la nevera donde se almacena el material refrigerado contaba con dos estanterías a los lados separadas por el pasillo central. Los materiales estaban colocados de manera que no era posible saber donde estaba cada cosa, ya que se colocaban donde había un hueco sin más.

La organización de la nevera se considera una acción crítica, por el tiempo dedicado a buscar materiales y porque a menudo aparecen materiales caducados debido a que no se sabe que están ahí.

Para organizar los materiales, éstos se separan por tipo de material (adhesivo, tejido, kits...) y se les da una ubicación concreta en las estanterías.

En las baldas de la estantería se colocan unas tarjetas identificativas de cada material. Estas tarjetas se codifican por colores según el tipo de material y además muestran el código con el que se conoce al material y su denominación.

Para el orden se tiene en cuenta la frecuencia de uso de cada material. Por ejemplo, los kits de telas, además de que se utilizan a diario son muy variados, por lo que no era posible definir una balda para cada uno. Por ello se compra un carro y se colocan todos juntos. También se colocan en un carro los rollos de material para la máquina y los rollos de tejido empezados.

Las cajas de materiales se colocan en las baldas más altas, de forma que solo se sube para coger una nueva caja cuando se agote el material y colocar una nueva.

En la puerta de la nevera se coloca un mapa con la situación de todos los materiales, de forma que el operario antes de abrirla y entrar ya sabe el lugar concreto en el que se encuentra el material que busca.



Fig. 223. Etiquetas identificativas de material en nevera

La siguiente imagen muestra el mapa creado con la distribución de materiales en la nevera. Los colores se corresponden con los de las tarjetas identificativas.

B. ORGANIZACIÓN ROLLOS DE MATERIAL AUXILIAR

En el taller existen unos portarrollos para material auxiliar. Estos portarrollos no tenían una ubicación determinada, al tener ruedas se movían según las necesidades urgentes y se colocaban en cualquier sitio sin tener en cuenta si era un pasillo o si molestaba para algún trabajo. Además, los rollos se colocaban al azar.

Se decide por un lado señalar los carros con el material que debía colocarse en cada sitio y además señalar en el suelo los lugares de los portarrollos. Esto además de la rapidez de encontrar lo que se busca facilita el corte de los materiales auxiliares.



Fig. 125. Portarrollos de material auxiliar

C. ORGANIZACIÓN HERRAMIENTAS MÁQUINAS FP

En las zonas de máquinas es muy importante organizar todas las herramientas y elementos necesarios para los cambios de utillaje. Para ellas existe un carro de herramientas, pero estaban desordenadas.

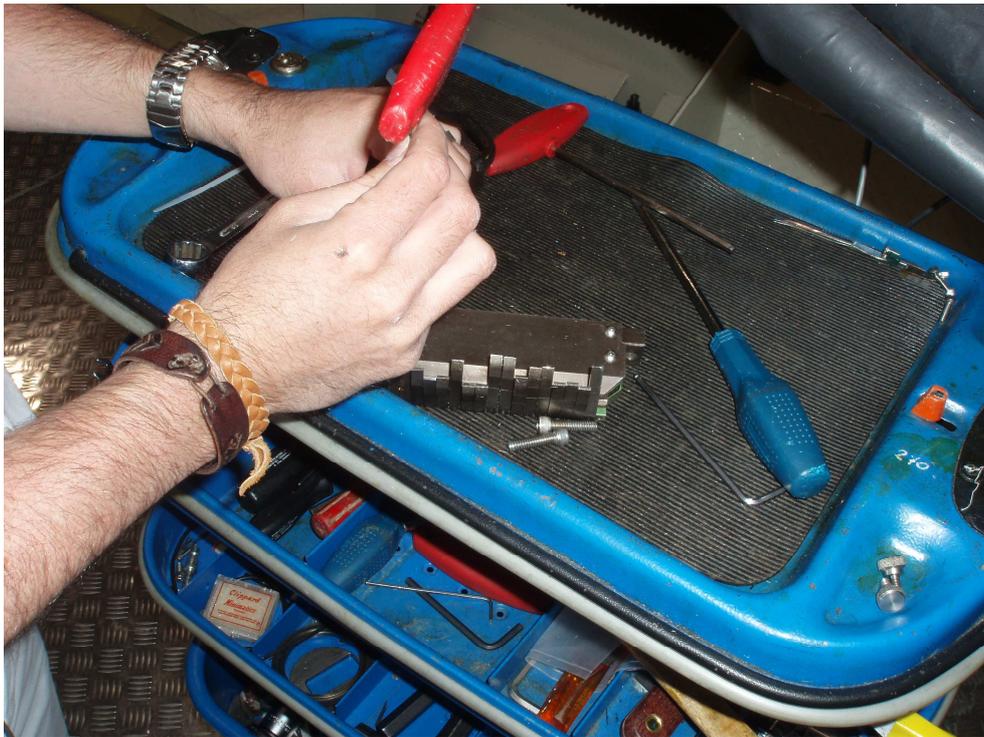


Fig.126. Carro herramientas desordenado

En primer lugar los operarios de máquina junto al Lean Manager crean un listado con todo lo necesario para el cambio de útil. Se reúne todo lo necesario y se diseña la forma de guardarlas. Para guardarlas se utiliza espuma de poliuretano en la que se siluetean las formas de los elementos que se van a guardar en cada cajón.

De esta manera, se encuentra todo mucho más fácilmente y cuando falta algo se detecta de forma inmediata.

Este método para ordenar carros de herramientas se extiende a la zona de lay-up manual. En ésta además se crean cuadros colgantes silueteados para herramientas por programas.



Fig. 127. Cuadro de herramientas colgante silueteado

D. BARANDILLAS DE SEGURIDAD MÁQUINAS FP

Las Máquinas FP cuentan con unas barandillas de seguridad que se desmontan cada vez que hay que cambiar el útil. No todas son iguales, por lo que cuando hay que volver a colocarlas se pierde mucho tiempo probando y buscando la adecuada. Por otro lado, mientras el útil se está cambiando las barandillas se colocan en el suelo sin orden ya que no existe una zona destinada para ellas.

Se decide señalizarlas y buscar una ubicación para colocarlas cuando no estén situadas en la máquina.

El método de señalización definido es muy simple. A cada barandilla se le asigna una letra y un número. La letra designa la zona en la que va colocada y el número se refiere a la máquina (1 o 2). En el suelo se pinta también la letra correspondiente a la barandilla que le corresponde. De esta forma al coger una, se busca la letra que le corresponde en el suelo y se coloca.

E. NECESIDADES SURGIDAS POSTERIORMENTE

Todas estas acciones se deciden al comienzo de la implantación de las 5S's. Durante el desarrollo de este proyecto van surgiendo más necesidades de organización en el taller, sobre todo en las áreas de la zona sucia y de lay-upo manual. Aunque esas zonas no son objeto del proyecto de Lean que se está desarrollando, todas se ponen en práctica y son las siguientes:

- Estantería para almacenamiento de núcleos del programa "NON COMMON COWLS A400M". Cada una de las piezas de este programa (32 en total) llevan núcleos diferentes y muy parecidos entre ellos. Se almacenan en la caja en la que las envía el proveedor, por lo que cuando es necesario un núcleo, el operario tiene que buscarlo entre más de 30. Se decide colocar una estantería en la zona de producción de este programa y organizar los núcleos en la misma por pieza. De esta forma el operario no tiene que buscar el núcleo, solo identificar la balda de que necesita y cogerlo. De esta forma además de eliminar tiempo de búsqueda, evitamos posibles errores en el uso de un núcleo correspondiente a otra pieza.



Fig.128. Estantería para núcleos.

- Carros para plantillas de posicionamiento del mismo programa. Las piezas de las que hablamos antes, necesitan para posicionar los núcleos sus respectivas PLPN. Existen más de una treintena de plantillas que se colocan en las mesas de corte y laminado sin orden y con la posibilidad de perdida que esto conlleva. Se decide comprar 3 carros donde se coloquen las

plantillas verticalmente. Los carros se identifican con los nombres de las PLPN de forma que se sepa dónde colocar cada una. Con esto se ahorra bastante tiempo de búsqueda y se mejora bastante el aspecto de la zona por estar mucho mejor ordenada y organizada.



Fig. 129. Carros para plantillas de posicionamiento

- Cajas almacenamiento de núcleos para el programa "PWP A400M". Para este conjunto de piezas existen muchos núcleos pequeños y el tiempo de búsqueda es muy alto. Para evitar dejarlos almacenados en la caja del proveedor se compran una serie de cajas de distintos tamaños (adaptadas al tamaño de los núcleos) que se identifican y se colocan en la estantería de núcleos de la que hablamos antes. Este sistema permite además detectar rápida y fácilmente los núcleos que hay pedir, ya que si la caja (o en el caso anterior la balda) está vacía es que no hay stock de ese núcleo y es necesario pedirlo al proveedor.



Fig. 130. Caja para núcleos

F. ORGANIZACIÓN DOCUMENTACIÓN DE TRABAJO

Para cada programa de piezas existe una serie de documentos de trabajo (libros de lay-up e instrucciones técnicas) que deben estar al alcance de los operarios, en buen estado y actualizados.

Inicialmente estos documentos se encuentran desordenados y a veces en muy mal estado debido a que no se guardan correctamente cuando no se utilizan. Ocurre a menudo que los documentos se pierden, por lo que el operario pide al jefe de taller una nueva copia.

Esto conlleva una serie de desperdicios de tiempo y recursos. Por un lado el operario tiene que esperar que se le entregue la nueva copia de los documentos y el departamento de ingeniería tiene que dedicar tiempo a la impresión de estas copias.

Se decide solicitar al departamento de ingeniería que cree una copia controlada y actualizada de toda la documentación de las piezas que se fabrican en ese momento.

Estos documentos nuevos, se guardan en carpetas clasificados por programa y pieza. Las carpetas se identifican con el nombre del programa al que pertenecen y se incluye dentro de ellas un listado con los documentos que deben estar guardados en las mismas. Esta lista sirve de control para comprobar que no falta ninguna documentación.

Los archivadores se colocan en las estanterías de cada zona de fabricación. Es decir, en cada zona de trabajo el operario tendrá a mano la carpeta con los documentos que necesite. Una vez que termine la pieza o su turno de trabajo, la debe colocar de nuevo en su lugar.

Así se consigue, además de eliminar tiempos de búsqueda de documentos, eliminar errores producidos por uso de documentación obsoleta.

Además la documentación se mantendrá durante más tiempo en buenas condiciones y no se perderá

5.2.1.3. Limpieza (Seiso)

ELIMINAR LA SUCIEDAD Y LAS FUENTES DE SUCIEDAD

En primer lugar, al inicio de la tercera fase se audita la anterior. Si no se pasa este punto, debe revisarse la 2ª S. En el caso que no ocupa la auditoria se pasó satisfactoriamente y se entró en la 3ª S.

La fase en la que nos encontramos busca incentivar la actitud de limpieza del sitio de trabajo. Se comienza con un paseo por el taller y la sala limpia para detectar fuentes de suciedad y elementos concretos que se encuentren muy sucios.

Se observa, que tanto en el taller como en la sala limpia existen muchos residuos repartidos en todas las zonas de trabajo. Existen restos de preimpegnadas, de materiales auxiliares, trozos de trapos... En la zona de máquina existen manchas de grasas, la propia máquina está cubierta de polvo y suciedad...

Posteriormente el grupo Lean se reúne y decide hacer una "*Campaña de Limpieza*". Esta jornada consiste en limpiar toda la suciedad de la planta (puesto de trabajo, máquinas, utensilios, suelos, paredes) de forma que se llegue al estándar de cómo deben quedar las instalaciones de forma permanente. Las acciones de limpieza que se decidan deben ayudarnos a mantener el estándar alcanzado el día de la jornada inicial.

La aplicación de esta 3ª S facilita la detección de posibles averías en las máquinas de FP y alarga su vida útil. Es decir, no solo mejoramos el aspecto del entorno de trabajo. Aunque no solo nos centraremos en el área piloto (zona de máquinas) esta 3ª S tiene mucha importancia en ella ya que la limpieza en

las máquinas era muy deficiente. Los operarios de máquina, en la "Campaña de limpieza" no solo limpian el área de máquina, a la propia máquina y todos sus elementos también se les elimina a fondo toda la suciedad.

Finalizada la campaña, hay que realizar un plan de limpiezas en el que cada persona tiene asignadas unas funciones y responsabilidades, con el objetivo de mantener y mejorar el orden y la limpieza, para así no volver a la situación inicial.



Fig. 131. Limpieza cabezal máquina FP

En nuestro caso, como ya se vio, existe un plan de limpieza impuesto por la normativa aeronáutica, en el que se establece la periodicidad de las limpiezas en sala limpia (suelos, paredes...). Pero este plan de limpieza se cumple siempre y es llevado a cabo por parte del personal externo.

El equipo Lean se centra en la suciedad encontrada en los bancos de trabajo, el área de máquina... Además, el proceso de fabricación de materiales compuestos genera muchos y muy variados residuos que no se separan de forma correcta. Por un lado el personal no tiene claro donde debe tirar cada residuo y por otro lado no existen en la sala contenedores bien identificados.



Fig.132. Ejemplo de residuo preimpregnado.

Se crea un código de colores para diferenciar los contenedores de cada tipo de residuo y se plantea una formación para definir en qué contenedor se debe tirar cada cosa. De este modo ya no tiene por qué haber ningún desperdicio por las mesas o suelo, el proceso de eliminación es más rápido ya que visualmente se sabe dónde tirar cada cosa y se mejora el aspecto de la sala limpia.

Se colocan contenedores rojos para residuos peligrosos, amarillos para materiales plásticos, azul para papel y cartón y blanco para restos de preimpregnados.

El punto importante de esta fase de implantación del método 5S's es que las tareas de limpieza pasen a formar parte del trabajo diario de todos los operarios. Deben concienciarse de que la limpieza no es labor exclusiva del personal de limpieza.

Por ello se establece que al final de cada turno se dediquen 5 minutos a recoger el puesto de trabajo de forma que quede en perfectas condiciones para el siguiente turno, devolviéndose las herramientas utilizadas a sus lugares correspondientes y limpiando el área (suelos, estantes, etc....) de los restos de material eliminados o de cualquier otro elemento de suciedad (aceite, agua,...) que nos encontremos.

Debe olvidarse la costumbre de realizar limpiezas grandes cada cierto tiempo y entrar en la dinámica del mantenimiento diario, de forma que cada vez que finalice un turno el área limpia quede como en la situación de partida tras la campaña de limpieza.

Es importante controlar que esto se cumple y establecer unas tareas de inspección de limpieza y orden para evitar posibles anomalías que vayan surgiendo (operarios que no cumplen los planes, personal que no tiene claro lo que debe hacer...).

Para llevar el control se crea un plan de limpieza en el que se recogen las tareas a realizar, la frecuencia de las mismas y los responsables de su cumplimiento.

También se hace un registro que el jefe de taller utiliza una vez a la semana para controlar que se cumplen las tareas establecidas en el plan. El mando del taller, un día de la semana selecciona una zona del área y la audita con el registro de verificación del plan de limpieza. Según los resultados obtenidos, se toman acciones correctivas o de mejora se forma que la limpieza se integra cada día más en el trabajo diario.

VERIFICACIÓN PLAN DE LIMPIEZA			
ZONA AUDITADA			FECHA:
TAREAS AUDITADAS	RESPONSABLE	ESTADO	OBSERVACIONES
Estado mesas			
Estado carros			
Estado estanterías			
Estado racks herramientas			
Estado contenedores			
Estado general limpieza			
Todo en su sitio			

Fig. 133. Registro para auditoría plan de limpieza

5.2.1.4. Estandarización (Seiketsu)

MANTENER CONSTANTEMENTE EL ORDEN Y LA LIMPIEZA

Para esta 4ª S el objetivo es mantener el trabajo realizado en las 3S's anteriores, es decir, mantener el área de trabajo organizada y limpia. Esto solo puede conseguirse aplicando las 3S's e introduciéndolas en el trabajo diario. Para ello es necesario crear los hábitos necesarios en el personal.

Se trata de estabilizar el funcionamiento de todas las reglas definidas en las etapas precedentes, buscando siempre la mejora continua.

Para crear los estándares el equipo Lean sigue 2 pasos:

- Asignar trabajos y responsabilidades: Para mantener lo conseguido el personal debe conocer exactamente cuáles son sus responsabilidades sobre lo que tiene que hacer y cuándo, dónde y cómo hacerlo. Basándose en el plan de limpieza creado anteriormente se asignan las responsabilidades y tareas.
- Integrar las 3S's en los trabajos de rutina: el mantenimiento de las condiciones debe ser una parte natural de los trabajos regulares de cada día.

Los estándares deben ser auditados para verificar que se cumplen. Esto se hace a través de un "checklist" que se realiza diariamente. Durante las sesiones de seguimiento de las 5S's el equipo Lean revisará los distintos registros de verificación ("checklist") para analizar los puntos que repetitivamente no se cumplan, buscar las causas y tomar las acciones correctivas oportunas.

FECHA AUDITORIA:		AUDITORIA CUMPLIMIENTO 3S's	
DESCRIPCIÓN		VALOR (0-4)	OBSERVACIONES
1ª S	CLASIFICACIÓN		
	Elementos innecesarios fuera del área de trabajo		
	Elementos en cuarentena identificados		
	Elementos necesarios al alcance del trabajador		
2ª S	ORDEN		
	Todo está en su sitio		
	Elementos desordenados		
	Mesas de trabajo despejadas		
	Pasillos despejados		
	Documentación en buen estado y ordenada		
	Carros y estanterías en orden		
	Elementos almacenados sin riesgo de deterioro		
3ª S	LIMPIEZA		
	Desperdicios en contenedores adecuados		
	Máquinas sin restos de grasas ni polvo		
	Suelos y paredes limpios		
	Mesas de trabajo sin restos de materiales		
	Personal con ropa de trabajo adecuada		
VALORES			
0: Muy Mal 1: Mal 2: Aceptable 3: Bueno 4: Muy Bueno			

Fig.134. Checklist estandarización

5.2.1.5. Disciplina (Shitsuke)

RESPETAR EL NUEVO SISTEMA DE TRABAJO

Esta última fase persigue que no se rompan las reglas establecidas en las fases anteriores. Es decir, se busca que no se acumulen de nuevo elementos innecesarios en el área de trabajo, que todo se mantenga ordenado y que todo esté limpio.

La disciplina es muy importante porque sin ella, la implantación de las 4S's anteriores se deteriora rápidamente.

Para ello es imprescindible crear el hábito en los trabajadores. Esto se consigue mediante la formación, en la que no solo deben aprender los conceptos de las 5S's, sino que deben entender la importancia y los beneficios del método. Es necesario educar e introducir el entrenamiento de aprender haciendo.

Es necesario también, en esta fase, el apoyo de la dirección en cuanto a recursos, liderazgo y seguimiento. Es esta parte de la organización la que debe promover la continuidad de las actividades del método y la que debe crear la cultura de sensibilidad, respeto y cuidado de los recursos.

Con las auditorias de la que se habla en la estandarización es posible ver si se cumple esta 5ªS o si por el contrario no se mantienen las condiciones como se definieron.

5.2.2. PROPUESTA DE MEJORA 6. Implantación Gestión Visual

El objetivo de la gestión visual es que todo lo que se realice en el puesto de trabajo venga originado por una orden visual. Si alguien que no conoce la planta debe ser capaz de diferenciar entre situaciones normales y anormales.

Mediante la gestión visual todos los detalles se hacen visibles lo que facilita la detección de errores de forma temprana. Además permite al trabajador conocer en todo momento el objetivo de producción y aprender a autogestionarse por lo que su implicación aumenta.

Ya al comienzo del desarrollo de las 5S's se observaron las carencias del área de materiales compuestos en cuanto a gestión visual. Por un lado no existen paneles de información, las estanterías y zonas de almacenamiento (de piezas, herramientas, útiles...) no están identificadas, toda la información que obtiene el operario es a través de conversaciones con el mando de taller...

En el desarrollo del proyecto actual se utilizan varios métodos para implantar la gestión visual como son los paneles de información y la señalización y delimitación de zonas.

5.2.2.1. Delimitación e identificación de zonas

Inicialmente sólo había diferenciación entre las zonas de trabajo (suelo verde) y los pasillos (suelo rojo). El resto de elementos y áreas no tenían delimitaciones de ningún tipo.

Se procede a definir los elementos y zonas presentes en el área que deben quedar delimitadas e identificadas. Una vez que se tiene un listado de todo lo que hay se preparan los carteles necesarios para la identificación.

Para la delimitación de zonas se utilizan cintas adhesivas y se utiliza el siguiente criterio de colores:

- CINTA AMARILLA: Delimitación de pasillos y elementos del área.
- CINTA ROJA: Delimitación de contenedores de residuos.

Estos criterios son explicados a todo el personal de forma que nunca haya dudas de interpretación.



Fig. 135. Contenedor delimitado con cinta roja.

Además de la delimitación con cinta en el suelo debe colocarse siempre un cartel con la identificación del elemento. El cartel se coloca dentro del área delimitada con la cinta.

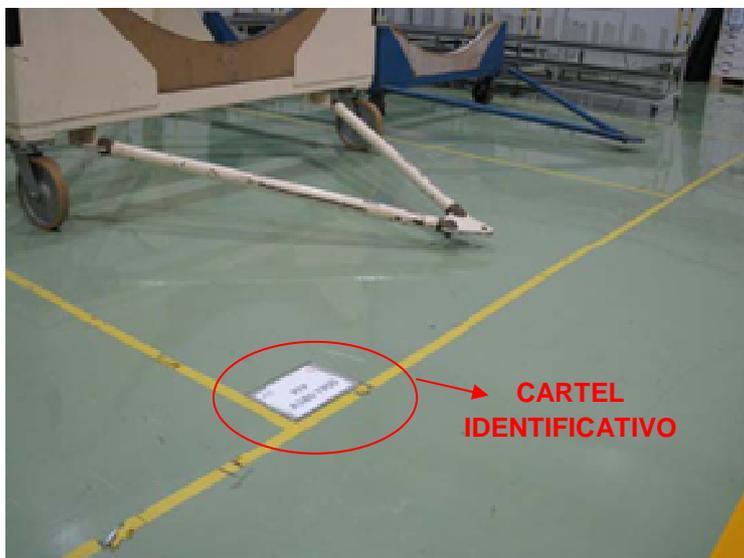


Fig. 136. Almacén de utillaje para FP.

Se identificaron también estanterías para materias primas o para piezas en actividades intermedias del proceso de fabricación. La identificación consiste en un cartel colocado en las baldas correspondientes.

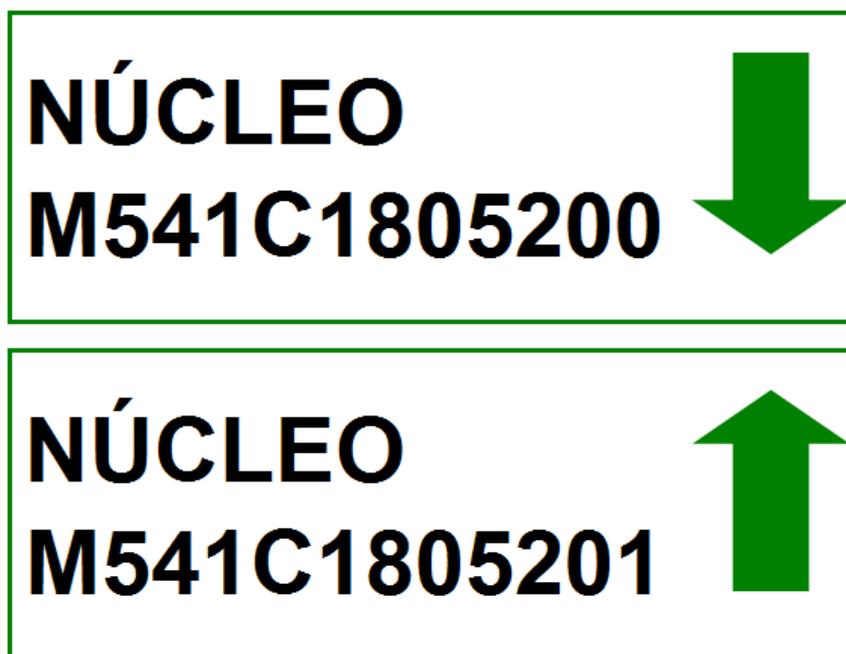


Fig. 137. Ejemplo de cartel para estantería de núcleos NCC.



Fig.138. Ejemplo carteles par estantería verificación.

Gracias a estas acciones todo lo que hay en el área queda perfectamente identificado. Si en algún momento hay algo que no está en su sitio se detecta inmediatamente, lo que facilita el mantenimiento del orden (tener todo en su sitio y un sitio para todo).

Se delimitaron e identificaron:

- Contenedores de residuos.
- Mesas de trabajo.
- Carros portarrollos.
- Gradass.
- Almacén de útiles de laminado y soporte para máquina FP.
- Estanterías de núcleos.
- Carros de herramientas.
- Mesas contenedoras de piezas para entrada en autoclave.
- Zona de atemperamiento.
- Estanterías de piezas pendientes de verificación.
- ...

5.2.2.2. Implantación de paneles de información

Una característica muy importante de la "fabrica visual" son los paneles informativos. Éstos recogen información sobre la situación de la producción, seguridad e higiene, turnos de personal, incidencias, desarrollos de los proyectos Lean Manufacturing, información que deja el turno saliente al

entrante...En definitiva, toda la documentación necesaria para la correcta gestión visual de cada área.

Con estos paneles toda la información se transmite visualmente. Como se actualizan al menos una vez a la semana (normalmente cada día), se obtiene información del proceso y se transmite la situación de la producción a tiempo real.

Los paneles deben colocarse en el entorno del área sobre el que informan, deben estar perfectamente visibles y en zonas que no sean de paso.

En el área de materiales compuestos solo existe inicialmente un panel del departamento de seguridad e higiene, que además, no se encuentra actualizado.

Por ello, durante el desarrollo del proyecto de gestión visual el equipo Lean propone la implantación de estos paneles. Se decide colocar en la sala limpia un panel por programa de fabricación y otro para el trabajo de las máquinas. Además, en el taller se propone colocar un panel resumen junto a la puerta de la sala limpia y mantener actualizado el de seguridad.

Cada panel está estructurado de una manera y recoge diferente información.

A. Panel resumen.

En la entrada de la sala limpia se coloca un panel en el que se recoge una especie de resumen de los datos de los paneles de la sala.



Fig. 139. Panel resumen

El panel, como se ve en la imagen, tiene forma de "L" y contiene información sobre indicadores de calidad, sobre el desarrollo del proyecto de Lean que se está implantando y sobre la situación de producción de todo el área. Además cuenta con una pizarra en la que se escriben notas acerca de las tareas pendientes del día, incidencias graves, cambios inesperados en las planificaciones...

En la parte de producción también se incluye un organigrama del área de materiales compuestos, con los trabajadores y sus puestos y los operarios responsables de cada programa de fabricación.

B. Panel de máquinas "Fiber Placement".

Se coloca un panel entre las 2 máquinas que da información sobre ambas. Este panel tiene el siguiente contenido:

- Gráficos OEE. Se presentan los datos de OEE por meses para poder observar la evolución de los mismos.

- Planificación de máquinas.

		MAYO																				
	AVIÓN	TURNOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
MAQUINA N° 1																						
FSF A-400M	5	3																				
A-340 (5 MOTORES)																						
MAQUINA N° 2																						
ENSAYOS BMI/TORAY		2																				
ENSAYOS ISOGRID		2																				
A-340 (7 MOTORES)		2,-3																				
ENSAYOS UNECA		3																				
CONO N/S 6	6	3																				
A-340 (8 MOTORES)		3																				
ENSAYO ISOGRID		3																				

Tabla. 15. Planificación de producción para máquinas FP.

- Casillero para incidencias, sugerencias...
- Información sobre cambio de útil. En el panel se puede ver el "checklist" para el cambio de útil (se verá en páginas posteriores) y la operativa a seguir para el cambio de utillaje.
- Pizarra para notas. El panel cuenta con una pequeña pizarra en la que los operarios o el responsable puede anotar comentarios para el turno entrante, aclaraciones, incidencias importantes...

C. Panel de seguridad e higiene.

A este panel que ya existía inicialmente se le incluyen nuevas informaciones y se mantiene actualizado. Se coloca en la entrada a la nave de composites.



Fig. 140. Panel Seguridad e Higiene

En el cartel de puede ver:

- Folletos informativos sobre evacuaciones, salidas y planes de emergencia...
- Personal del equipo de segunda intervención.
- Información sobre EPI's
- Estadísticas sobre accidentes
- ...

D. Paneles por programas

Dentro de la sala limpia, se coloca un panel por programa de fabricación en el entorno de la zona de trabajo de ese programa en concreto. Los paneles que se colocan son los siguientes:

- A380GP
- A340
- NCC A400M
- PWP A400M

Los 4 paneles se estructuran de la misma forma y llevan la misma información:



Fig. 141. Panel por programas.

- PLANIFICACIÓN.

Semanalmente se cuelga en cada panel la planificación y el seguimiento de la producción del programa.

Este documento está diseñado de forma que cuando un operario comienza o finaliza alguna operación, lo debe señalar en el mismo. Esto facilita la labor de control de producción ya que en la planificación colgada los operarios vuelcan la información necesaria para el seguimiento de la fabricación.

- CALIDAD.

En este apartado se colocan los gráficos generados por el departamento de calidad, donde se muestran los indicadores de calidad, en este caso, el número de defectos aparecidos por elemento fabricado.

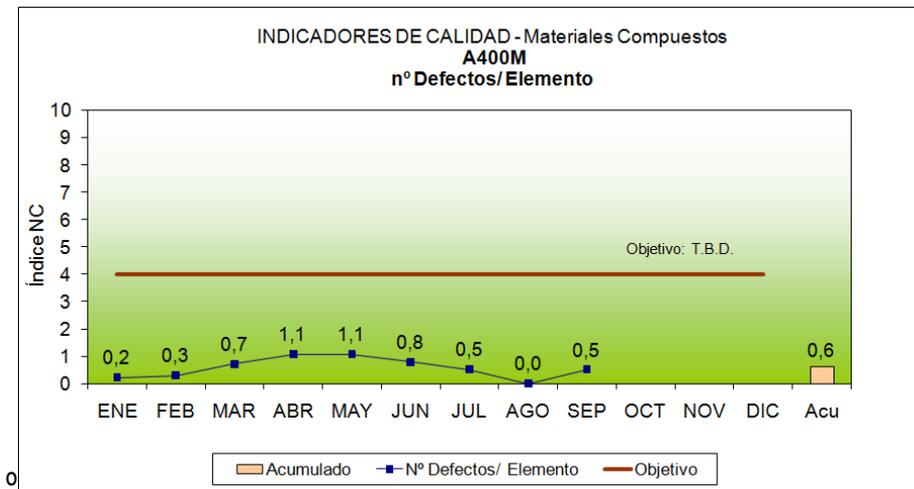


Fig. 142. Indicador de calidad programa A400M

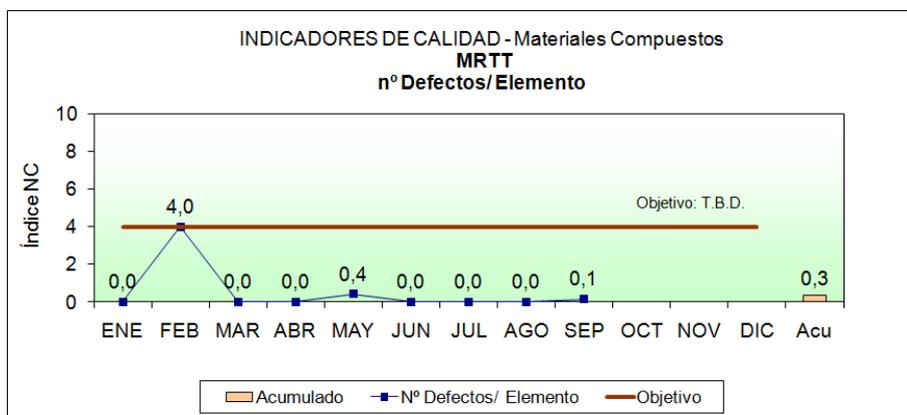


Fig. 143. Indicador de calidad programa MRTT

- COSTES.

Se exponen los datos de costes por encima de lo planificado, por ejemplo los costes debidos a reprocesos o horas de accidentales (horas no planificadas).

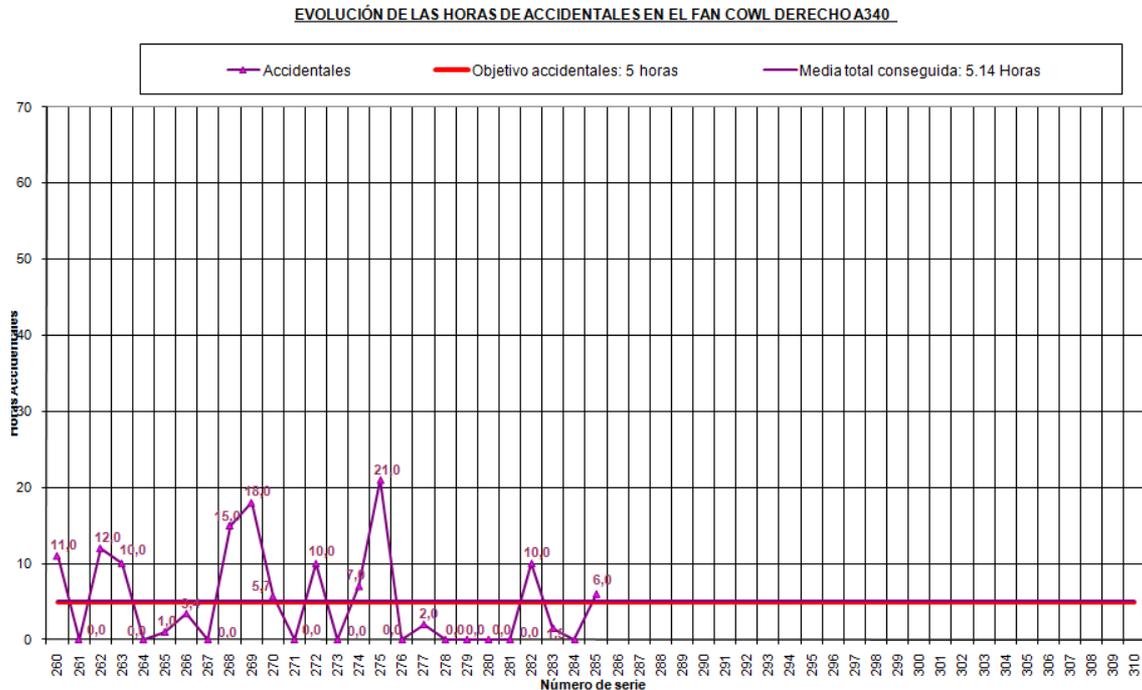


Fig. 144. Gráfico de horas de accidentales

- ACTAS, SOLAPE E INFORMACIÓN.

En la zona de actas se colocan las actas de las reuniones diarias que semanalmente recogerá el jefe de taller para las reuniones con el responsable de producción. También se colocan las sugerencias de mejora y los partes de incidencias.

En las casillas solape e información se escriben anotaciones del turno saliente al entrante, problemas puntuales, desviaciones...

En el ANEXO III pueden verse ejemplos del contenido de los paneles informativos.

5.2.2.3. Priorización de la producción mediante la gestión visual

En el departamento de materiales compuestos todas las órdenes de producción lanzadas tienen la misma prioridad, lo que no refleja la situación real de producción ya que en ocasiones existen piezas críticas. Cuando esto ocurre, no existe ninguna evidencia de ello por lo que los operarios no tienen recursos para diferenciar las piezas críticas y urgentes de las que no lo son (a no ser que el jefe de taller lo comunique).

Es por esto que se decide diferenciar visualmente las órdenes de producción haciendo uso de bolsas de distintos colores:

- ROJA: Piezas críticas.
- VERDE: Piezas semicríticas.
- AZUL: Piezas especiales (ensayos, producción puntual...).
- TRANSPARENTE: Piezas no críticas.



Fig. 145. Bolsas de colores para órdenes de producción.

El personal de control de producción será el que se encargue de gestionar esta clasificación. Además, una pieza puede ser crítica al inicio de su proceso de producción y dejar de serlo durante el mismo (o viceversa).

Por ejemplo, una pieza es urgente, por lo que se coloca en una bolsa roja. Comienza su producción y por problemas debe sufrir un reprocesado. Mientras la pieza espera para ser reprocesada comienza la fabricación de una nueva referencia de la misma pieza, y en este caso el proceso avanza dentro

de la normalidad. Esta última pieza "adelanta" a la anterior en el proceso de fabricación, por lo que la anterior pieza deja de ser crítica ya que hay adelanto en la producción.

Para piezas que tengan la misma criticidad se decide hacer uso de sistemas "First in, First out", es decir, la primera que llega debe ser la primera en salir.



Fig. 146. Sistema FIFO

5.3. PROJECT CHARTER 3. MEJORA DEL RENDIMIENTO EN F.P.

Este tercer "Project Charter" se centra en la optimización de las máquinas de laminado automático, concretamente se busca aumentar su disponibilidad alrededor de un 5% anual.

Project Charter 3 Hoja de Definición			
DESCRIPCIÓN	MEJORA RENDIMIENTO MÁQUINAS FIBER PLACEMENT		
EQUIPO DE TRABAJO	NOMBRE	DEPARTAMENTO	CARGO
LEAN MANAGER	-	Composites	Resp. Producción
COMPONENTES	-	Composites	Jefe Taller
	-	Composites	Operario Lay-up manual
	-	Composites	Operario FP
	-	Composites	Operario Autoclave
	-	Calidad Composites	Resp. Producción
	-	Calidad Composites	Verificador
	-	Ing. Composites	Programacion FP
	-	Composites	Tec. Cont. Producción
OBJETIVO	KPI	ACTUAL	OBJETIVO
	Disponibilidad FP	5548 H/año	Aumentarla 250 H anuales
ACCIONES Y DEDICACIÓN			
Revisar/Lanzar registro manual de paradas		1	Día
Generar y recoger datos		Continuo	
Analizar y clasificar datos			
Implantación de mejoras		2	Mes
Aplicación SMED		2	Semana
Implantación Mantenimiento autónomo		2	Mes
Seguimiento		3	Mes

Tabla 16. Project Charter "MEJORA RENDIMIENTO FP"

Para conseguir el objetivo se utilizan herramientas de Lean Manufacturing como son:

- Control y análisis de paradas mediante indicador OEE.
- Mantenimiento Autónomo.
- SMED.
- Autonomatización.

5.3.1. PROPUESTA DE MEJORA 7. Control y análisis de paradas (OEE)

Inicialmente, en el área de composites no se monitorizaban de forma continua las paradas de las máquinas de encintado automático. Alguna vez, por algún problema concreto, se habían recogido datos durante un periodo de tiempo determinado.

Durante el desarrollo del presente proyecto, desde las sesiones iniciales se decide crear un sistema de recogida y análisis de datos de paradas. Ya la información inicial se utilizó para estudiar la situación de partida del proyecto.

Además, estos primeros datos sirven para diseñar el sistema de recogida y de análisis de datos posteriores.

Como se ha dicho, es el OEE (Eficiencia global del equipo) el indicador que mide el rendimiento de la máquina y además muestra la causa o fuente de la disminución de ese rendimiento.

Este indicador será el que se calcule con los datos que se recojan para así poder aumentar la eficiencia y disponibilidad de las máquinas, mejorar la calidad de los productos y reducir el tiempo de inactividad de los equipos.

El indicador OEE representa el porcentaje del tiempo total planificado en que la máquina produce piezas buenas.

Para poder calcular el indicador y conocer con exactitud las pérdidas existentes en el equipo, es necesario recoger datos de tiempos de paradas y las razones de las mismas.

El objetivo del cálculo de este indicador es aumentar la productividad de las máquinas diferenciando entre 3 factores:

- Disponibilidad de la máquina.

- Rendimiento de la máquina.
- Calidad de las piezas fabricadas.

Al diferenciar los tres factores con el cálculo del OEE es posible focalizar los esfuerzos para aumentar la efectividad total de la máquina ya que nos muestra dónde y por qué se están dando mayoritariamente las pérdidas.

Se definen 6 tipos de pérdidas que afectan a los 3 factores de los que hablamos antes:

TIPO DE PERDIDA	AFECTA A	PERDIDA	DESCRIPCIÓN
De tiempo	DISPONIBILIDAD	AVERÍAS	Paradas debidas a deterioros en el equipo que deben ser reparados para continuar.
		ESPERAS Y CAMBIOS	Paradas debidas a cambios de condiciones de uso del equipo, cambios de turnos, cambios de materiales, cambios de utillaje...continuar.
De velocidad	RENDIMIENTO	MICROPAROS	Paradas causas por pequeñas problemas que se solucionan en cortos periodos de tiempo (menos de 5 minutos)
		REDUCCIÓN DE VELOCIDAD	Máquina trabajando por debajo de sus posibilidades debido a deterioros, a miedo a otros problemas por trabajar a mayor velocidad...
De calidad	CALIDAD	DESECHOS	Tiempo invertido en fabricar productos que no cumplen las especificaciones y no pueden ser reprocesados.
		RETRABAJOS	Tiempo invertido en reprocesar productos fabricados con defectos que pueden ser reprocesados.

Tabla 17. Tipos de paradas según OEE

A continuación se expone el significado de cada uno de los 3 ratios de los que se compone el OEE (tipos de pérdidas):

- **DISPONIBILIDAD:** se refiere al tiempo durante el cual la máquina debería haber producido pero no lo ha hecho, es decir, no sale ningún producto de la máquina.
- **RENDIMIENTO:** mide las pérdidas causadas por el mal funcionamiento del equipo o por el tiempo en que la máquina trabaja a una velocidad por debajo de su velocidad máxima.

- **TASA DE CALIDAD:** se refiere al tiempo en que la máquina está fabricando productos que no cumplen las especificaciones de calidad. Afecta a la calidad del equipo.

TIEMPO TOTAL DISPONIBLE		
A	TIEMPO DE CARGA	NO PLANIFICADO
B	TIEMPO DE OPERACIÓN BRUTO	AVERÍAS ESPERAS
B	TIEMPO DE OPERACIÓN BRUTO	
C	TIEMPO DE OPERACIÓN NETO	MICROPAROS VELOCIDAD
C	TIEMPO DE OPERACIÓN NETO	
D	TIEMPO DE OPERACIÓN EFECTIVO	DESECHOS RETRABAJOS
D	TIEMPO DE OPERACIÓN EFECTIVO	

Fig. 147. Datos de tiempos implicados en el cálculo del OEE.

Para calcular el OEE se utilizan una serie de términos que explicamos a continuación:

TIEMPO TOTAL DISPONIBLE. Tiempo total que la máquina está disponible para fabricar. Normalmente son 480 minutos por turno.

TIEMPO DE CARGA. (A). Tiempo total que la máquina está disponible menos el tiempo que se haya decidido no destinarlo a producir (p.ej. debido a vacaciones, a baja carga de trabajo, personal no disponible...)

TIEMPO DE OPERACIÓN BRUTO. (B). Tiempo durante el cual la máquina está fabricando productos, es decir, el "Tiempo de Carga" menos las pérdidas de tiempo por averías, esperas, cambios, restricciones de línea...

TIEMPO DE OPERACIÓN NETO. (C). Tiempo durante el cual la máquina fabrica productos a la velocidad máxima, es decir, el "Tiempo de Operación Bruto" menos el tiempo de paradas debidas a microparos o reducción de velocidad.

TIEMPO DE OPERACIÓN EFECTIVO. (D). Tiempo que el equipo produce piezas buenas, es decir, el "Tiempo de Operación Neto" menos el tiempo de pérdidas por piezas malas o reprocesos.

El OEE es el producto de los 3 ratios (disponibilidad, rendimiento y calidad). Tanto el OEE como el resto de indicadores se miden en porcentajes.

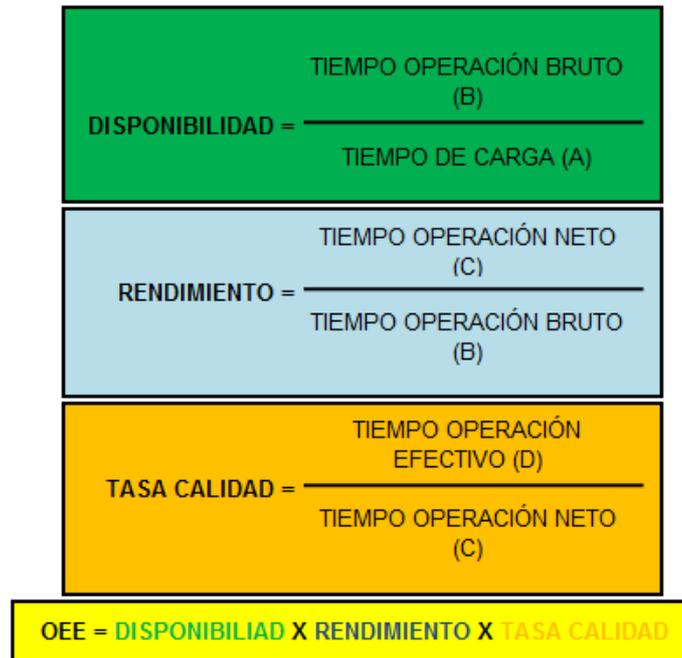


Fig. 148. Cálculo del OEE.

El objetivo del cálculo del OEE es conocer con exactitud las razones de las paradas de las máquinas *Fiber Placement*. Estudiando de forma independiente cada uno de los 3 ratios podemos conocer las causas de las paradas que disminuyen el rendimiento de las máquinas.

Por otro lado, el cálculo continuo del OEE permite medir el desarrollo de las implantaciones de mejora. Comparando los datos a lo largo del tiempo vemos si se están consiguiendo los objetivos planteados.

Para calcular el OEE de las 2 máquinas de FP hay que seguir una serie de pasos que se exponen con detalle a continuación.

5.3.1.1. Definición de categorías de paradas

Para que el OEE tenga un sentido, es de vital importancia que el tiempo de parada vaya relacionado a la causa de la misma. Por ello es muy importante definir los tipos de paradas de forma que el operario pueda achacar los tiempos a sus causas.

Ya se ha comentado que en la etapa de análisis de la situación de partida se comenzaron a recoger datos de paradas. Las categorías que se usaron en ese momento se definen entre todo el equipo Lean mediante una tormenta de ideas. En esa sesión se definen 11 categorías.

En la primera reunión del equipo para tratar el desarrollo de la metodología de cálculo del OEE se decide que es necesario crear más categorías de forma que la categorización de las paradas se pueda hacer de un modo mucho más conciso y concreto.

La definición de las nuevas categorías se hace mediante la observación directa del funcionamiento durante 2 semanas. Además se analizó el histórico de las actuaciones del departamento de mantenimiento en las máquinas buscando las acciones más repetidas.

Las distintas categorías deben clasificarse según el tipo de pérdida al que pertenezcan. Por ejemplo, todas las paradas debidas a retrabajo de alguna capa son pérdidas de calidad que afectarán a la tasa de calidad). Los colores indican a cuál de los 3 ratios que influyen en el OEE pertenece cada tipo de parada.



Fig. 149. Código colores para clasificación de paradas

En la siguiente tabla se muestran las categorías de paradas y la clasificación de las mismas:

CATEGORÍA DE PARADA	DESCRIPCIÓN
ATASCO	Atasco en cabezal o en recorrido del material
LIMPIEZA PLANIFICADA	Limpieza perteneciente al plan de limpieza
LIMPIEZA NO PLANIFICADA	Limpieza no perteneciente al plan de limpieza
ENREDO	Enredo del material entre bobina y cabezal
FALLO DE CORTE	Corte incompleto o inexistente
ATASCO PLÁSTICO SEPARADOR	Atasco causado por el plástico del material
MATERIAL DEFECTUOSO	Material en malas condiciones. Indicar defecto
CAMBIOS PLANIFICADOS	Cambios de cuchillas o cilindros planificados
CAMBIOS NO PLANIFICADOS	Cambios de cuchillas o cilindros no planificados
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL	Mantenimiento correctivo. Anotar avería y nota Máximo
CAMBIO DE MATERIAL	Cambio o reposición de material
MECHAS ENROLLADAS	Material enrollado en el compactador
INSPECCIÓN / RETRABAJO CAPA	Inspeccionar capas y retrabajar los defectos
FALLO DEL PROGRAMA	Problemas debidos al programa de la máquina
CAMBIO DE ÚTIL	Cambio de útil
FALTA OPERADOR	El operario no ha venido a trabajar
NO PRESENCIA OPERADOR	El operario no está presente (cambio de turno, desayuno...)
FALTA DOCUMENTACIÓN	Espera a documentación de trabajo
OPERACIONES MANUALES	El operario está realizando operaciones manuales
FALTA ÚTIL	Esperas por falta de utillaje (PEFP, PEAU,...)
AUTOMANTENIMIENTO	Mantenimiento planificado
VACIADO DE TOLVA	Parada para vaciar tolva
ESCAPE DE MECHAS	Mechas sueltas
VARIOS	Otras paradas. Indicar el concepto

Tabla 18. Categorías de paradas de máquinas FP

5.3.1.2. Creación de registros de recogida de datos

Los datos y tiempos de paradas deben quedar recogidos para su posterior análisis y estudio. En nuestro caso, existen 2 registros de recogida de datos:

1. Registro manual.

Se diseña un registro que se entrega a los operarios de la máquina. El registro recoge las 24 categorías de paradas que se decidieron crear.

Cada vez que se comience a laminar una nueva pieza, el operario debe apuntar la duración y la causa de todas las paradas que realice la máquina mientras está en funcionamiento.

Además debe anotar información como la referencia de la pieza, la fecha y hora de inicio y fin del laminado, si está trabajando la máquina 1 o la 2 (todos los cálculos se hacen de forma independiente para cada máquina) y el operario (u operarios) que realiza la pieza.

2. Registro automático.

El software de la máquina cuenta con un programa llamado "Observer" que genera un documento que recoge una lista de todas las paradas de la máquina y sus tiempos.

Cada vez que la máquina para, el operador debe seleccionar en la pantalla una categoría de entre todas las existentes (las mismas que quedan recogidas en el registro manual).

En cada para la máquina permite al operario hacer comentarios (mensajes de operador) para anotar alguna incidencia anormal o especificar la razón de las paradas catalogadas en el apartado "varios".

Debido a que los tiempos de cambio de útil en las máquinas son muy altos, es muy importante que queden perfectamente definidos tanto en los registros manuales como en los automáticos generados por la máquina. Para ello se define que el cambio de utillaje debe incluirse como parada en la pieza que se termina.

Es decir, si se está fabricando una pieza tipo A y posteriormente está planificado fabricar una pieza tipo B, el tiempo de cambio de utillaje se incluye en el tiempo de fabricación de la pieza tipo A, cuando se finaliza este cambio, se cierra el *Observer* y se genera un registro automático de paradas. Se abrirá de nuevo el programa cuando comience la fabricación de la pieza tipo B.

Como recordatorio de esto y de otros puntos a tener en cuenta, se coloca en el panel informativo de la máquina la llamada "Operativa de máquina".

OPERATIVA DE TRABAJO MAQUINA FIBER PLACEMENT

- LA MAQUINA NO SE PARA EN CAMBIO DE TURNO, DESCANSO...
- LA CARGA DE MATERIAL DOS PERSONAS
- MANTENER EL ÁREA ORDENADA
- LA MAQUINA NO SE PARA AL CAMBIAR EL ÚTIL
- OBSERVER **SIEMPRE** ABIERTO
- EL TIEMPO DE CAMBIO SE INCLUYE EN LA PIEZA QUE SE TERMINA

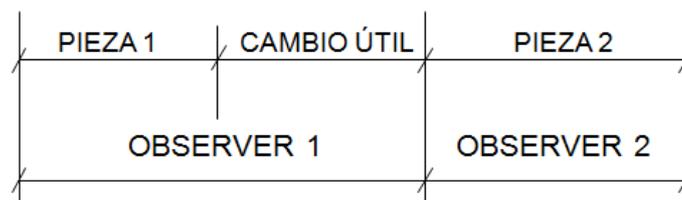


Fig. 150. Cartel "Operativa de máquinas" en panel informativo

MAQ. N°: FECHA:		REGISTRO PARADAS MÁQUINAS FIBER PLACEMENT		OPERADOR:		OBSERVACIONES											TOTAL (minutos):																
		P/N	REFERENCIA	FECHA / HORA INICIO	FECHA / HORA FIN																												

Fig. 151. Registro manual de paradas de máquina

REGISTRO PARADAS MÁQUINAS FIBER PLACEMENT		OPERADOR:
MAQ. Nº:	OBSERVACIONES	
FECHA:		

Fig. 152. Registro manual de paradas de máquina

Para poder categorizar las paradas mediante el registro automático es clave tener siempre el programa Observer abierto, poner mensajes de operador cuando sea necesario, utilizar lo mínimo posible la categoría "varios" y las veces que se utilice poner un mensaje de operador.

Una vez que tenemos todas las herramientas necesarias para recoger los datos el equipo Lean convoca a todos los operarios de máquina a una sesión de formación.

En esta sesión se les explica qué es el OEE, para que sirve y la importancia del indicador para conseguir aumentar el rendimiento de las máquinas. Se les exponen las herramientas de recogida de datos y cómo deben recogerlos. Además se les hace ver que su papel en el desarrollo de este proyecto es vital.

A partir de este momento se considera implantada la sistemática de recogida de datos e inmediatamente se comienza la recopilación de los mismos.

5.3.1.3. Análisis de los datos y cálculo del OEE

Durante los 15 primeros días de recogida de datos con las nuevas herramientas, se genera un formulario de procesamiento de datos, de forma que una vez que se tenga información suficiente para comenzar el análisis, el formulario permita de forma automática el análisis de la información.

Se crea una serie de hojas Excel en las cuales se vuelca la información de los registros y automáticamente se calculan los 3 ratios (disponibilidad, rendimiento y tasa de calidad) y el OEE. Es la única manera de hacer operativo el análisis de los datos, ya que se trabaja con una gran cantidad de información y de otra manera sería un proceso muy largo, tedioso y que daría lugar a muchos errores de cálculo.

El cálculo el OEE se hace por meses. Se crea una hoja en la que se genera un resumen de los datos por meses.

RESUMEN DATOS PARADAS						MES	
PIEZA							
HORA Y FECHA DE INICIO							
HORA Y FECHA DE FIN							
TIEMPO TOTAL PIEZA (Total Observer)							
HORAS INCLUIDAS EN OBSERVER NO TRABAJADAS (fines de semana, festivos...)							
TIEMPO CARGA (Observer sin fines de semana, festivos...)							
LIMPIEZA PLANIFICADA	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00
CAMBIO CUCHILLAS / CILINDRO PLANIFICADO	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00
CAMBIO ÚTIL	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00
CAMBIO / REPOSICIÓN MATERIAL	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00
LIMPIEZA NO PLANIFICADA	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00
CAMBIO CUCHILLAS / CILINDRO NO PLANIFICADO	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00
VACIADO DE TOLVA	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00
AUTOMANTENIMIENTO	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00
FALLO DE PROGRAMA	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00
FALTA ÚTIL	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00
ATASCO PLÁSTICO SEPARADOR	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00
FALLO DE CORTE	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00
MECHAS ENROLLADAS	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00
ENREDOS	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00
ATASCO	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00
NO PRESENCIA OPERADOR	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00
MATERIAL DEFECTUOSO	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00
ESCAPE DE MECHAS	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00
INSPECCIÓN / RETRABAJO CAPAS	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00
FALTA OPERADOR	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00
OPERACIONES MANUALES	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00
FALTA DOCUMENTACIÓN	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00
VARIOS	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00
TOTAL TASA CALIDAD	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00
TOTAL	0:00:00						

Tabla 19. Hoja resumen de paradas mensuales

A parte, pero vinculada con la hoja anterior, se crea otra hoja de Excel que toma los datos de esta última y calcula de forma automática la disponibilidad, el rendimiento, la tasa de calidad y el OEE de la máquina en cuestión durante ese mes.

MÁQUINA Nº:	MES 1	MES 2	MES 3
TIEMPO CARGA	0:00:00	0:00:00	0:00:00
TIEMPO OPERACIÓN BRUTO	0:00:00	0:00:00	0:00:00
TIEMPO OPERACIÓN NETO	0:00:00	0:00:00	0:00:00
TIEMPO OPERACIÓN EFECTIVO	0:00:00	0:00:00	0:00:00
DISPONIBILIDAD	0,00%	0,00%	0,00%
TASA CALIDAD	0,00%	0,00%	0,00%
RENDIMIENTO	0,00%	0,00%	0,00%
OEE	0,00%	0,00%	0,00%

Fig. 153. Hoja de cálculo de ratios e indicadores automática.

Por último se crean en otra hoja los gráficos de OEE, que muestran de forma visual los porcentajes de pérdidas por paradas de la máquina. Se crean gráficos con varios meses, de forma que se ve perfectamente a evolución de los datos.

En el Anexo IV se muestran los gráficos reales realizados durante el desarrollo del proyecto por parte del estudiante.

Estos gráficos se exponen, como dijimos, en el panel informativo de las máquinas FP.

Una vez que se han recogido y analizado suficientes datos (2 meses) los resultados deben también ser analizados. Tras este análisis deben abrirse una serie de acciones de mejora con el objetivo de que la capacidad de las máquinas aumente. Estas acciones no son expuestas ya que por parte de la

dirección se decide centrarse en ellas en proyectos que se desarrollen en años posteriores).

OEE MAQUINA FIBER PLACEMENT 1

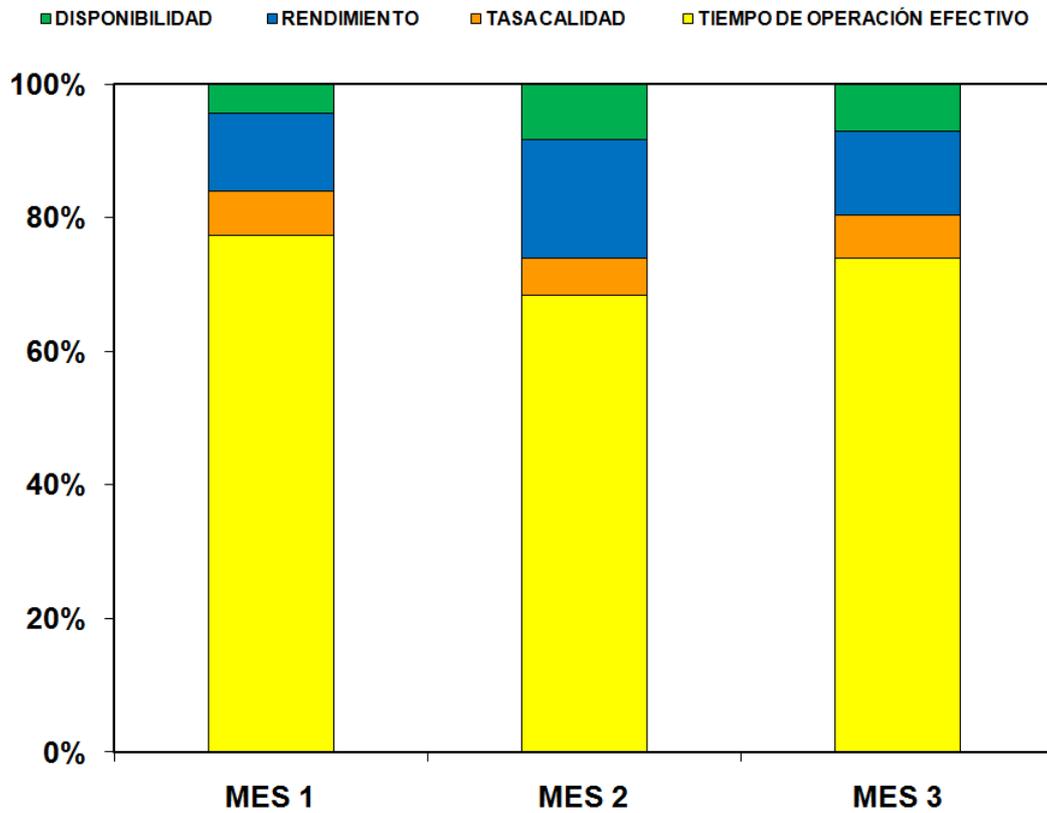


Fig. 154. Ejemplo de gráfico de OEE

5.3.2. PROPUESTA DE MEJORA 8. Aplicación técnica SMED

Otra de las acciones propuestas para conseguir mejorar el rendimiento de la máquina *Fiber Placement* es reducir al máximo el tiempo de cambio de útil, aunque en el análisis inicial se observó los datos de tiempo de cambio de útil que se obtenían eran casi nulos.

Estos primeros gráficos de paradas de las máquinas llamarón mucho la atención de los operarios de máquina, ya que según ellos esos tiempos eran muy altos. Esta información fue corroborada por el jefe de taller y el responsable de producción. Se llegó a la conclusión de que al principio no se habían recogido las paradas por cambio de útil en los registros y por ello esos tiempos eran siempre prácticamente 0, lo cual no se acerca en absoluto a la realidad.

Para reducir los tiempos de preparación de máquina, el *Lean Manager* propone utilizar la técnica SMED ("*Single minute exchange die*") que significa que el cambio de utillaje debe hacerse en minutos de un solo dígito (es decir, en tiempos por debajo a los 10 minutos). Hay que tener en cuenta que, aunque ese es el significado de las siglas SMED, en nuestro caso es prácticamente imposible llegar a ese objetivo por características intrínsecas del proceso de cambio. Se debe buscar llegar al mínimo tiempo posible que puede estar por encima de los 10 minutos.

Esta técnica es sencilla de aplicar ya que su metodología es clara y está perfectamente estructurada. Además los resultados son evidentes es poco tiempo y sin necesidad de grandes inversiones.

La reducción de estos tiempos, que en nuestro caso son muy altos, permite aumentar la flexibilidad, la productividad y la capacidad del equipo ya que permite reducir el tamaño de los lotes, el lead time de los productos y el coste de los mismos.

Para aplicar el SMED es imprescindible tener clara la diferencia entre operaciones internas y externas. Las primeras son las que necesariamente se realizan con la máquina parada y las externas son las que pueden realizarse con la máquina en marcha (pero que no necesariamente se hacen de esa manera).

El objetivo del método crear un estándar en la operativa de cambio de utillaje de forma que con el menor número de movimientos se haga el cambio lo más rápido posible y que este estándar se vaya perfeccionando con el tiempo. A este objetivo se llega siguiendo las 4 fases de la técnica.

FASES MÉTODO SMED		REDUCCIÓN TIEMPO
FASE 0	ANÁLISIS SITUACIÓN INICIAL	-
FASE 1	ELIMINAR PARADAS DE OPERACIONES EXTERNAS	50%
FASE 2	CONVERTIR OPERACIONES INTERNAS EN EXTERNAS	75%
FASE 3	REDUCIR TIEMPOS DE OPERACIONES INTERNAS	90%

Fig. 155. Fases del método de cambio de útil SMED

Antes de comenzar con las etapas del método, el primer paso para la implantación del mismo es hacer un taller con todos los operarios de la máquina y el equipo Lean sobre SMED. Lo primero que se hace es una formación sobre el método en la que se explican las fases del mismo, la diferencia entre operaciones internas y externas y los beneficios que aporta tanto a nivel de organización como en el trabajo diario de los operadores.

5.3.2.1. FASE 0. Análisis inicial

Esta primera parte tiene como objetivo analizar a fondo el proceso inicial de cambio de útil. De este estudio debemos obtener la secuencia detallada de tareas realizadas para llevar a cabo el cambio y los tiempos de cada una de ellas.

Para ello se baja al taller y se realiza un cambio de útil simulando las condiciones normales y ejecutando el cambio tal y como se hace en el trabajo normal.

Mientras los operarios de máquina realizan las tareas de cambio, el equipo Lean graba en video todo el proceso y cronometra todas las tareas. Una vez finalizada la simulación, se muestra el video a todo el equipo y se discute cada paso y tarea del cambio.

En este debate se discute que tareas son internas y cuales son externas. Se analizan las herramientas usadas, las razones de las paradas evitables... En definitiva, se analizan no solo los tiempos sino también las condiciones que rodean al cambio.

Tras analizar las imágenes el equipo de trabajo crea el diagrama de flujo del cambio de utillaje, concretando al máximo todas las tareas, los elementos necesarios para ejecutar cada una de ellas y el personal que interviene en las mismas.

Hay que decir, que existen 2 tipos de operadores de máquina. El "Operario de máquina" (OM) que es quien trabaja con la máquina propiamente dicha (como es el laminado) y el "Operario de apoyo a máquina" (AM), que ejecuta tareas de apoyo (como la ayuda en la carga de material). En el diagrama se concreta quien hace cada operación.

Tras este análisis, se pasa a la siguiente fase.

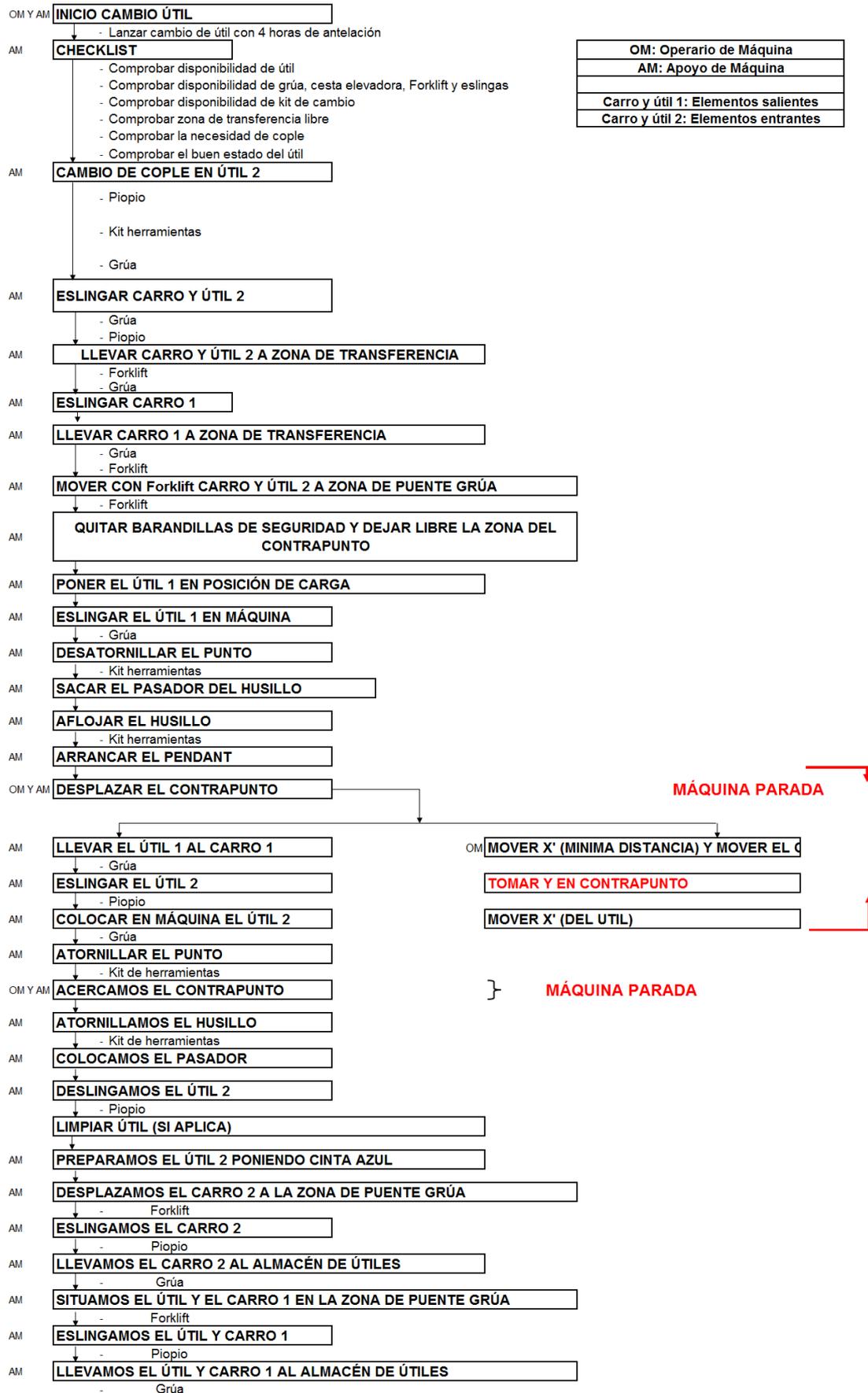


Fig. 156. Diagrama de flujo de cambio de útil.

5.3.2.2. FASE 1. Separación operaciones internas y externas

Esta es la fase más importante, ya que es en la que se pueden conseguir más reducciones (alrededor del 50%) sin necesidad de grandes inversiones.

En esta etapa se analiza el diagrama de flujo, pero ya teniendo en cuenta los tiempos y se busca separar las operaciones internas de las externas y asegurar que todas las tareas internas se hagan sin parar la máquina.

En primer lugar se crea un cuadro resumen donde se recogen todas las operaciones y sus tiempos. En ese cuadro se indica si las operaciones se realizan (lo cual no implica que lo sean) inicialmente como internas o externas.

Como se ve en el cuadro, inicialmente todas las operaciones se hacen con la máquina parada. El cambio de utillaje se hace entre 2 personas y a veces, mientras uno está ejecutando alguna tarea, el otro está esperando, lo cual añade tiempo al cambio de útil pero no añade valor.

En el momento inicial, el tiempo total de cambio de útil es de 1 hora y 21 minutos. Hay que decir, que durante la simulación no hubo problema de esperar a ninguna herramienta, pero es algo que pasa a menudo. Por ejemplo, el operario va a cambiar el útil, pero el puente grúa está siendo usado para otra tarea, por lo que debe esperar a que quede libre para comenzar el proceso.

En definitiva, este tiempo a veces en la realidad es mucho mayor, llegando incluso a durar unas 4 horas.

CAMBIO ÚTIL MÁQUINA FIBER PLACEMENT. Situación inicial		
DURACIÓN		
	OPERARIO 1	OPERARIO 2
0:03:00	0:07:30	Buscar mando de la grúa
0:04:30		
0:01:30	0:01:30	Quitar vallas (protección)
0:01:00	0:02:30	Acercar grúa
0:01:30		
0:01:00	0:01:00	Esperar (compañero buscando mando)
0:01:00	0:01:00	Colocar plástico en útil
0:03:00	0:03:00	Colocar gancho de eslinga
0:01:00	0:01:00	Tensar eslinga
0:06:00	0:06:00	Verificar tensión de eslinga
0:08:00	0:08:00	Aflojar tornillos
0:01:00	0:01:00	Quitar tornillos
0:01:30	0:01:30	Esperar (compañero buscando llave inglesa)
0:04:30	0:04:30	Buscar llave inglesa
0:00:30	0:00:30	Esperar (compañero buscando moviendo contrapunto)
0:00:30	0:00:30	Mover contrapunto "hacia fuera"
0:04:30	0:04:30	Esperar (compañero comprobando disponibilidad útil)
0:00:30	0:00:30	Ver si está el útil libre
0:04:30	0:04:30	Colocar útil en su sitio
0:00:30	0:00:30	Coger nuevo y acercar a puesto
0:07:30	0:07:30	Dar cota de X'
0:02:00	0:02:00	Esperar (compañero entra datos en sistema)
0:03:00	0:03:00	Capturar datos alineamiento en sistema
0:05:00	0:05:00	Colocar útil en su sitio (punto)
0:02:00	0:02:00	Buscar barra de hierro
0:10:00	0:10:00	Esperar mientras se busca barra de hierro
0:01:00	0:01:00	Posicionar útil
0:00:30	0:00:30	Poner tornillos a mano
0:03:00	0:03:00	Apretar tornillos
0:01:00	0:01:00	Ir al contrapunto y acercar contrapunto
0:01:00	0:01:00	Acercar contrapunto
0:00:30	0:00:30	Poner "clavo" en lado de contrapunto
0:03:00	0:03:00	Verificar tornillos
0:01:00	0:01:00	Quitar eslingas
0:01:00	0:01:00	Devolver grúa
0:00:30	0:00:30	Reponer protección (valla)
0:00:30	0:00:30	Tomar puntos de origen, dejar útil en su sitio, etc.
	1:21:00	

	TOTAL TIEMPOS
OPERACIÓN SIN VALOR AÑADIDO	0:23:00
OPERACIÓN EXTERNA	0:54:00
OPERACIÓN INTERNA	0:00:00
CAMBIO ÚTIL COMPLETO	1:21:00

Fig. 157. Datos iniciales de tiempos de cambio de útil.

También se analizan las herramientas necesarias para cada operación, que se muestran en el cuadro siguiente:

ACCIÓN	PERSONAL	RECURSOS
INICIO CAMBIO ÚTIL	OM Y AM	Planificación
CHECKLIST	AM	Checklist
CAMBIO DE COPLE EN ÚTIL 2	AM	PioPio
		Grúa
		Kit Herramientas
ESLINGAR CARRO Y ÚTIL 2	AM	PioPio
		Grúa
LLEVAR CARRO Y ÚTIL 2 A ZONA DE TRANSFERENCIA	AM	Forklift
		Grúa
ESLINGAR CARRO 1	AM	Grúa
LLEVAR CARRO 1 A ZONA DE TRANSFERENCIA	AM	Grúa
		Forklift
MOVER CARRO Y ÚTIL 2 A ZONA DE PUENTE GRÚA	AM	Forklift
QUITAR BARANDILLAS DE SEGURIDAD Y DEJAR LIBRE LA ZONA DEL CONTRAPUNTO	AM	
PONER EL ÚTIL 1 EN POSICIÓN DE CARGA	AM	
ESLINGAR EL ÚTIL 1 EN MÁQUINA	AM	Grúa
DESATORNILLAR EL PUNTO	AM	Kit Herramientas
SACAR EL PASADOR DEL HUSILLO	AM	
AFLOJAR EL HUSILLO	AM	Kit Herramientas
ARRANCAR EL PENDANT	AM	
DESPLAZAR EL CONTRAPUNTO	OM Y AM	
LLEVAR EL ÚTIL 1 AL CARRO 1	AM	Grúa
MOVER X' Y MOVER EL CONTRAPUNTO	OM	
ESLINGAR EL ÚTIL 2	AM	PioPio
COLOCAR EN MÁQUINA EL ÚTIL 2	AM	Grúa
ATORNILLAR EL PUNTO	AM	Kit Herramientas
ACERCAMOS EL CONTRAPUNTO	OM Y AM	
ATORNILLAMOS EL HUSILLO	AM	Kit Herramientas
COLOCAMOS EL PASADOR	AM	
DESLINGAMOS EL ÚTIL 2	AM	PioPio
PREPARAMOS EL ÚTIL 2 PONIENDO CINTA AZUL	AM	
DESPLAZAMOS EL CARRO 2 A LA ZONA DE PUENTE GRÚA	AM	Forklift
ESLINGAMOS EL CARRO 2	AM	Grúa
LLEVAMOS EL CARRO 2 AL ALMACÉN DE ÚTILES	AM	Grúa
SITUAMOS EL ÚTIL Y EL CARRO 1 EN LA ZONA DE PUENTE GRÚA	AM	Forklift
ESLINGAMOS EL ÚTIL Y CARRO 1	AM	PioPio
LLEVAMOS EL ÚTIL Y CARRO 1 AL ALMACÉN DE ÚTILES	AM	Grúa

Fig. 158. Listado de recursos necesarios por tarea

5.3.2.3. FASE 2. Conversión operaciones internas en externas

Posteriormente se verá si todas las tareas que se realizan con la máquina parada realmente son externas o si por el contrario es posible realizarlas con la máquina en marcha. También se evaluará si es posible convertir alguna operación considerada interna en externa. En definitiva, se busca reducir el número de operaciones internas y el tiempo de las mismas.

Se creará un segundo cuadro con la misma información que el primero, pero que muestre si las operaciones son internas o externas (es decir, que muestre cómo debe hacerse, no cómo se hace realmente).

En el cuadro de la situación objetivo se ve que la mayoría de operaciones realmente pueden hacerse con la máquina en marcha. Tan solo 15 minutos de los 85 que dura el cambio completo corresponden a operaciones internas.

CAMBIO ÚTIL MÁQUINA FIBER PLACEMENT. Situación objetivo			
DURACIÓN		OPERARIO 1	OPERARIO 2
0:03:00	0:07:30	Buscar mando de la grúa	Buscar mando de taller (permiso uso grúa)
0:04:30			Esperar (compañero buscando mando)
0:01:30	0:01:30	Quitar vallas (protección)	
0:01:00	0:01:00	Decir a compañero que pare su máquina	Esperar (parada máquina)
0:01:00	0:02:30	Acercar grúa	Rotar útil para posicionar en
0:01:30			Esperar (puente grúa)
0:01:00	0:01:00	Colocar plástico en útil	
0:03:00	0:03:00	Colocar gancho de eslinga	
0:01:00	0:01:00	Tensar eslinga	
0:06:00	0:06:00	Verificar tensión de eslinga	
0:08:00	0:08:00	Aflojar tornillos	
0:01:00	0:01:00	Quitar tornillos	
0:01:30	0:01:30	Esperar (compañero buscando llave inglesa)	Buscar llave inglesa
0:04:30	0:04:30	Esperar (compañero buscando moviendo contrapunto)	Mover contrapunto "hacia fuera"
0:00:30	0:00:30	Esperar (compañero comprobando disponibilidad útil)	Ver si está el útil libre
0:04:30	0:04:30	Colocar útil en su sitio	
		Coger nuevo y acercar a puesto	
		Decir a compañero que pare su máquina	
0:00:30	0:00:30	Dar cota de X'	
0:07:30	0:07:30	Esperar (compañero entra datos en sistema)	Capturar datos alineamiento en sistema
0:02:00	0:02:00	Colocar útil en su sitio (punto)	
0:03:00	0:03:00	Buscar barra de hierro	Esperar mientras se busca barra de hierro
0:05:00	0:05:00	Posicionar útil	
0:02:00	0:02:00	Poner tornillos a mano	
0:10:00	0:10:00	Apretar tornillos	
0:01:00	0:01:00	Ir al contrapunto y acercar contrapunto	
0:03:00	0:03:00	Esperar parada de otra máquina para acercar contrapunto	
0:01:00	0:01:00	Acercar contrapunto	
0:00:30	0:00:30	Poner "clavo" en lado de contrapunto	
0:03:00	0:03:00	Verificar tornillos	
0:01:00	0:01:00	Quitar eslingas	
0:01:00	0:01:00	Devolver grúa	
0:00:30	0:00:30	Reponer protección (valla)	
0:00:30	0:00:30	Tomar puntos de origen, dejar útil en su sitio, etc.	
1:25:00			

	TOTAL TIEMPOS
OPERACIÓN SIN VALOR AÑADIDO	0:27:00
OPERACIÓN INTERNA	0:15:00
OPERACIÓN EXTERNA	1:10:00
CAMBIO ÚTIL COMPLETO	1:25:00

Fig. 159. Situación objetivo para cambio de útil.

Si observamos los tiempos y comparamos ambos cuadros se ve que aumenta el tiempo sin valor añadido, esto se debe a los tiempos de espera para parar la máquina que se encuentra en marcha. Esta situación se compensa con el gran aumento de tiempo de operaciones externas (aumenta hasta el 82%). Por otro lado, el tiempo de las operaciones internas se reduce hasta el 17 %.

	INICIAL	OBJETIVO
% OPERACIONES SIN VALOR AÑADIDO	28,40%	31,76%
% OPERACIONES INTERNAS	66,67%	17,65%
% OPERACIONES EXTERNAS	0,00%	82,35%

Fig. 160. Comparación de tiempos entre situación inicial y situación objetivo

Ahora que ya se tiene claro que operaciones pueden hacerse con la máquina en marcha y cuáles son inevitablemente operaciones externas, se está en disposición de pasar a la última fase.

5.3.2.4. FASE 3. Mejora de la operativa de trabajo

En este momento se busca implantar una serie de mejoras que lleven a la reducción de los tiempos de las operaciones internas si es posible también los de las operaciones externas.

Se tomaron una serie de medidas y acciones de mejora que se incluyeron en el plan de acciones lanzado al comienzo del proyecto. Algunas de ellas ya se han incluido en otros proyectos y otras se plantean a largo plazo, por lo que no se llegan a poner en práctica en el desarrollo del presente proyecto Lean.

Revisión de Procesos Productivos		FECHA REVISIÓN:	Pendiente	En curso	Terminado
TAREAS		Rble Seg.	INDICADOR CUMPLIMIENTO	Fechas	
Nº	CAMBIO Y PREPARACION UTIL (SMED)				
				Inicio	Fin
1	DEFINIR UBICACIÓN FIJA DE ALMACENAMIENTO DE ÚTILES DE ENCINTADO	GRUPO SMED		10-5-07	
2	CREACIÓN DE CHECKLIST	GRUPO SMED		31-5-07	
3	CREAR CARRO DE HERRAMIENTAS CON TODO LO NECESARIO	GRUPO SMED		31-5-07	
4	HERRAMIENTA NEUMÁTICA DE APRIETE	ACCIÓN A LARGO PLAZO			
5	ESTANDARIZAR TORNILLOS	GRUPO SMED		29-6-07	
6	PONER A PUNTO ÚTIL DE COGIDA DE ÚTILES (IZADO)	GRUPO SMED		30-4-07	
7	IMPLANTAR TRASFERENCIA DE PUENTES GRUA	ACCIÓN A LARGO PLAZO			
8	MARCA HORIZONTAL EN ÚTILES Y PUNTOS	GRUPO SMED		11-4-07	
9	AVISAR CON ANTELACIÓN NECESIDAD DE PUENTE GRUA Y CESTA ELEVADORA	OPERARIOS FIBER		CONTINUO	
10	MEJORAR ANCLAJE DEL CONTRAPUNTO	ACCIÓN A LARGO PLAZO			

Fig. 161. Plan acciones de mejora para cambio de útil.

La compra de una herramienta neumática, para evitar el apriete de tornillos de forma manual es una de las acciones planteadas a largo plazo. Esta acción disminuiría el tiempo de cambio y mejoraría la seguridad, ya que al apretar manualmente nunca se sabe la fuerza que se ha aplicado y si el útil está correctamente cogido.

La tarea 7 también es planteada a largo plazo. El área limpia cuenta con 2 zonas diferenciadas cada una de las cuales dispone de sus respectivos sistemas de puente-grúa. Durante un cambio de útil son necesarios ciertos movimientos en los que hay que llevar un útil de grandes dimensiones de una zona a la otra.

Al ser estos puentes independientes no transfieren el movimiento de uno a otro. Por ello para realizar esos movimientos hay que usar el puente-grúa en

una de las zonas y buscar otras herramientas (carretillas, carros...) para la otra zona.

Se decide estudiar la posibilidad de que el fabricante de los puentes grúa instale un sistema de transferencia para evitar las situaciones expuestas anteriormente. Así se podrían realizar movimientos completos de una zona a otra sin necesidad de más elementos que los puentes grúa. Se reduciría el tiempo de movimiento y aumentaría la seguridad y la facilidad en el trabajo.

A continuación se explican las principales acciones de mejora planteadas para llevar a cabo durante el desarrollo del proyecto SMED actual:

TAREA 1. Definir ubicación fija para útiles de laminado automático (PEFP). Se decide que la ubicación sea la esquina entre las 2 máquinas, por ser una zona que estaba desaprovechada, que no interfiere en el paso para realizar otras tareas y además por cercanía a ambas máquinas.

En la imagen siguiente se observa la zona de la sala limpia en la que están las 2 máquinas automáticas (zonas 1 y 2) y la zona que se destina al almacenamiento de los PEFP (zona 3).

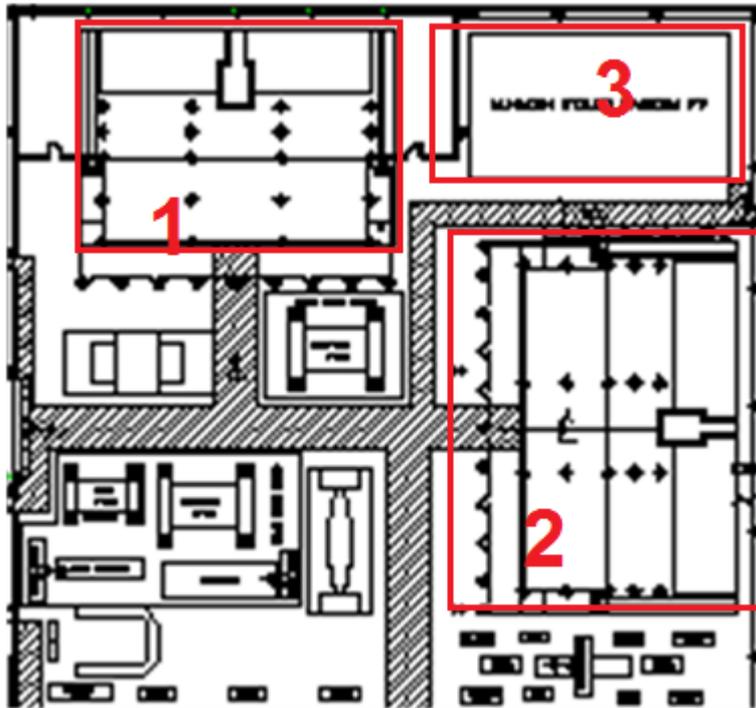


Fig. 162. Zona de almacenamiento de útiles de laminado automático.

TAREA 2. Creación de *checklist*. Se crea una lista con todo lo que se necesita para realizar el cambio de útil. Varias copias de este documento se colocan en un casillero existente en el panel informativo de las máquinas.

De esa forma, el operario cada vez que deba cambiar el útil, toma una copia y verifica antes de comenzar el proceso de cambio que tiene al alcance todo lo que necesita. Una vez relleno, lo vuelve a colocar en el panel, para poder recoger las observaciones y ver cuáles son las deficiencias mas repetidas.

<u>CHECK LIST</u>	
<input type="checkbox"/>	ÚTIL
<input type="checkbox"/>	PUENTE GRÚA
<input type="checkbox"/>	CESTA ELEVADORA (PIOPIO)
<input type="checkbox"/>	FORKLIFT
<input type="checkbox"/>	ESLINGAS
<input type="checkbox"/>	CARRO DE HERRAMIENTAS PARA CAMBIO ÚTIL
<input type="checkbox"/>	ZONA DE TRANSFERENCIA LIBRE
<input type="checkbox"/>	NECESIDAD DE COPLE
<input type="checkbox"/>	ÚTIL EN BUEN ESTADO
<u>SUGERENCIAS Y OBSERVACIONES</u>	

Fig. 163. Checklist cambio de útil.

TAREA 3. Creación carro herramientas con todo lo necesario. Esta tarea se expuso en el desarrollo del proyecto de las 5S's. Hay que decir, que aunque se desarrolla dentro de ese proyecto, es una mejora común a los 2, y que se llevó a cabo una vez que se analizó a fondo el cambio de útil durante el desarrollo del proyecto SMED.

El listado de necesidad de herramientas se expone a continuación. Todo lo necesario se coloca en el carro de forma ordenada.

CANTIDAD	DESIGNACIÓN	MEDIDAS	COMPRAR
1	Carro de herramientas	1150x700x910	SI
2	Llaves fijas boca estrella plana 36 mm.	295x56x22	SI (una)
2	Células de carga	800x400x180	No
2	Guías (2)	Diam. 18x450 mm.	SI
1	Llave para husillo	550 mm.	No
1	Mazo de teflón	350 mm.	No
1	Palanca	20x600	SI
1	Llave inglesa	380 mm.	No
1	Llave de gancho articulada con pasador 155/8	Diam. Ext.tuerca 85 mm.	SI
1	Llave allen (freno husillo) W 1/4"	200x12 mm.	No
	Llave allen (para útil plano)	¿12,6 mm ? *	SI

Fig. 164. Herramientas necesarias para cambio de útil.

TAREA 5. Estandarizar tornillos. Ya se vio en una de la primeras sesiones del método de las 5S's que existían tornillos de muy variadas características para unir el útil a la máquina. Esto aumenta el tiempo de cambio ya que al tener cabezas distintas, se necesitan varias herramientas de apriete.

Se decide estandarizar los tornillos, es decir, tener tornillos de las mismas características para cada útil. De esta forma con una única llave pueden apretarse todos los tornillos. Hubo que comprar algunos tornillos pero otros pudieron ser mecanizados para igualarlos a los demás. Los que ya no servían se retiraron de la zona. Los demás se ordenaron en cajas identificadas con el nombre del útil al que pertenecían y se colocaron en el carro de herramientas.

TAREA 8. Marcar los útiles y el punto. Al colocar el útil para cogerlo al punto se pierde mucho tiempo alineando los taladros del útil con los del punto para la colocación de los tornillos. Hay que tener en cuenta que el útil está eslingado y para conseguir la alineación hay que hacer uso del mando del puente grúa, que tiene una precisión mucho menor de los que se necesita para la operación.

Para evitar esta pérdida de tiempo se decide marcar 2 zonas en el punto y marcar cada útil de forma que uniendo las marcas, los taladros queden alineados.

TAREA 9. A menudo se daba la situación de que el puente grúa y la cesta elevadora no estaban disponibles cuando eran necesarios para el cambio de útil y los operadores de máquina debían esperar a que quedaran libres para proceder al cambio.

Debido a esta circunstancia se toma la decisión de que siempre se debía avisar al mando de taller de la necesidad de los elementos con 4 horas de antelación y evitar así retrasos y esperas inútiles.

5.3.3. PROPUESTA DE MEJORA 9. Mantenimiento Autónomo

Ya al analizar la situación inicial se observó en los gráficos de paradas de maquinas que el mantenimiento suponía grandes pérdidas de tiempo debido a que todas las averías requerían de la presencia de personal del departamento de mantenimiento.

Se puede decir que en el momento inicial, en la palta de composites, únicamente existía mantenimiento correctivo excepto cuando se realizaban las revisiones anuales de los equipos por parte de los fabricantes.

El personal de mantenimiento actuaba cuando se producía algún fallo. Si el fallo era de tal calibre que el equipo no estaba en disposición de trabajar, el departamento de mantenimiento ejecutaba una actuación de emergencia. Si por el contrario la avería no suponía la parada del equipo, el personal de mantenimiento actuaba cuando no tenía otra actuación de emergencia.

Ante todas las acciones el personal de mantenimiento seguía un procedimiento que consistía en solucionar de forma temporal la avería y paralelamente buscar la solución a la causa para acabar definitivamente con el problema.

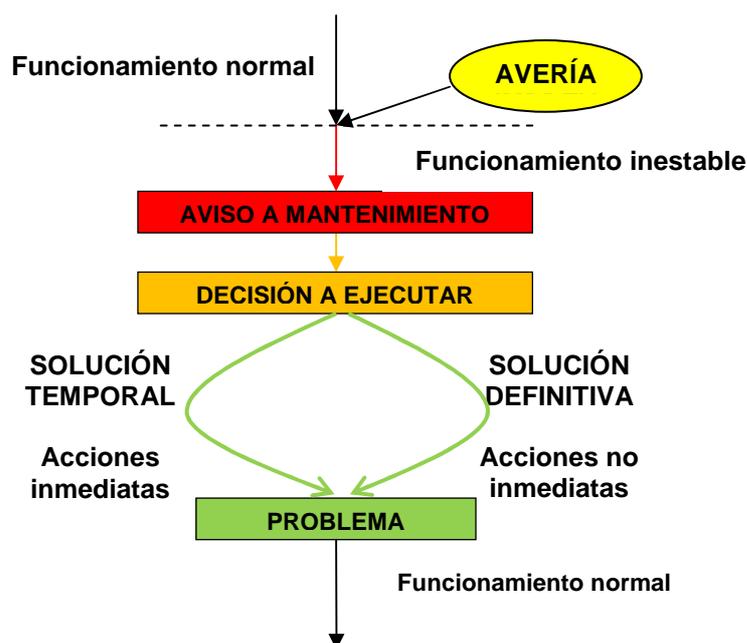


Fig. 165. Mantenimiento correctivo

Ocurre que la respuesta del personal de mantenimiento ante una avería, ya sea de urgencia o no, no es inmediata. Esto se puede achacar a varias causas, por ejemplo, a la alta carga de trabajo y a la falta de organización del departamento.

Ante esta situación se decide implantar el mantenimiento autónomo en la zona de máquinas de *"Fiber Placement"*. Este tipo de mantenimiento es característico del Mantenimiento Productivo Total (o TPM), que busca la implicación de todo el personal en el mantenimiento de los índices productivos. Por tanto, este sistema de gestión busca que el personal que trabaja a diario con los equipos se haga responsable de los mismos.

Ya en la formación que se dio a los operarios de la zona se les mostró el sistema TPM y se les hizo ver que había que cambiar el pensamiento de *"yo trabajo, tu arreglas"* por el de *"yo soy responsable de mi equipo"*.

Los operadores de máquina deben ser responsables no solo de la fabricación de las piezas, sino que también deben hacerse responsables de todo lo que rodea al equipo. Simplemente con la observación de anomalías y con la ejecución de tareas que siempre se han visto como competencia de mantenimiento (limpieza, lubricación, ajustes...) pueden evitar averías y alargar la vida del equipo.

Lo primero que se debe hacer para conseguir la implantación del mantenimiento autónomo en el área de máquinas de encintado automático es la formación del personal de máquina. Esta formación tiene como objetivo capacitar al personal en ciertas habilidades:

1. Detectar situaciones anormales y analizar causas. El operario debe ser capaz de distinguir perfectamente si el equipo trabaja en condiciones normales o si lo hace en condiciones anormales o extraordinarias. Además, cuando descubre una situación fuera de la normalidad debe saber cómo analizarla para encontrar la causa de la anomalía.

2. Actuar ante situaciones anormales. Los operarios deben ser capacitados para poder solucionar averías, reparar el equipo e incluso buscar e implementar mejoras en el mismo.
3. Conocer perfectamente el equipo de forma que sean capaces de predecir y diagnosticar averías.
4. Comprender la importancia de las tareas de mantenimiento diarias como la limpieza, la lubricación...

En nuestro caso, los operarios se sienten totalmente responsables del equipo, por lo que en el inicio ya se tenía bastante adelantado. En cuanto a la formación sobre TPM se incluyó en el plan de formación expuesto en el primer "Project Charter".

El resto de las capacidades necesarias para la implantación del mantenimiento autónomo (capacidad para sustituir componentes, diagnosticar causas de averías...) se irán adquiriendo con la práctica y el tiempo durante el desarrollo continuo de la implantación del TPM.

Para la implantación del automantenimiento se siguen una serie de pasos que se exponen a continuación e forma detallada.

5.3.3.1. Limpieza inicial

Consiste en una limpieza a fondo no solo de la máquina propiamente dicha, sino también del entorno de la misma. Esta limpieza inicial se hace con la supervisión del responsable de mantenimiento, de forma que los operarios conozcan la forma de llevar a cabo la limpieza y como debe quedar la máquina.

Así, una vez que se defina el plan de limpieza, los operadores estarán capacitados para hacerlo sin supervisión.

Mientras se realiza esta primera limpieza supervisada, el responsable de mantenimiento indica como detectar anomalías y enseña al operario a etiquetarlas, de forma que será el personal de mantenimiento quien decida si la desviación puede ser tratada por el mismo operador o requiere la presencia del departamento.

Paralelamente el equipo Lean define el plan de limpiezas a seguir:

PLAN DE LIMPEZA FIBER PLACEMENT		
PERIODICIDAD	ACCIÓN	RESPONSABLE
Diario	Limpieza pérdidas de aceite	Personal máquina
Diario	Limpieza filtro	Personal máquina
Diario	Limpieza rodillo del cabezal	Personal máquina
Diario	Limpieza cuchillas	Personal máquina
Semanal	Limpieza filtros enfriadores	Personal máquina

Fig. 166. Plan de limpieza máquinas FP.

5.3.3.2. Eliminar fuentes de contaminación y suciedad

Se busca eliminar las causas de la suciedad de forma que las limpiezas cada vez sean más rápidas y sencillas. Puede ocurrir que sea imposible eliminar la causa o que existan áreas que sean inaccesibles para la limpieza.

En estos casos habría que dirigir los esfuerzos a la minimización de la dispersión de los contaminantes y a la conversión de áreas inaccesibles en accesibles.

Ya con el desarrollo de las primeras etapas del método de las 5S's se tenía bastante trabajo adelantado ya que se habían eliminado todos los obstáculos existentes en las zonas de máquinas que dificultaban el paso y ocultaban suciedad y posibles anomalías.

Las fuentes de suciedad también se habían analizado y eliminado, por lo que en este paso buscó la facilidad en la inspección y limpieza del equipo. Es decir, se analizaron las zonas complicadas de limpiar e inspeccionar y se buscaron soluciones para facilitar las tareas.

Las máquinas de encintado automático puede decirse que son equipos "limpios" y no presentan zonas de acceso complicado. Solo se acumula en grandes cantidades el plástico protector del material preimpregnado.

Esta fuente de contaminación es la única zona de la máquina que no está a la vista del operario mientras la máquina está en funcionamiento puesto que el almacén refrigerado de bobinas de material tiene una puerta opaca que impide ver si hay algún problema en la misma.

Se propuso el cambio de la puerta por una de cristal, de forma que se solucionaran 2 causas importantes de desperdicios.

Por un lado, con la puerta de cristal, el operario puede prever cuando va a necesitar reponer alguna bobina, de forma que el material se atempera con tiempo y en el momento del fin del rollo, el nuevo está preparado para ser colocado. Si además, el fin de rollo se da en un momento en el que el operario no está presente, cuando éste vuelva tendrá que colocar manualmente la tira que no ha laminado la máquina o retirar ciertas capas de material para que la máquina las reponga correctamente.



Fig. 167. Armario refrigerado para bobinas

Por otro lado, al estar visible el armario de las bobinas, el operario advierte cuando el plástico separador no se ha separado correctamente del material y está creando un atasco.

5.3.3.3. Creación de estándares

Una vez que se conoce cuales son las condiciones optimas de las máquinas, se crean los estándares de limpieza. Con ellos todo el personal puede saber cómo mantener la máquina en el estado optimo.

Los estándares deben indicar que debe hacerse, como, donde y cada cuanto deben hacerse las acciones de forma que se mantengan las condiciones óptimas.

Con los estándares los operarios se sienten más seguros y realizarán las tareas de limpieza y mantenimiento mejor y con más confianza.

Se crearon para las maquinas FP estándares de limpieza y verificación. Los estándares se presentaron a todo el personal de la máquina para asegurar el entendimiento de los mismos y su cumplimiento. En el panel de máquina se colocan resúmenes de los estándares.

ESTÁNDAR DE LIMPIEZA E INSPECCIÓN (Responsabilidad del personal de máquina)		
PERIODICIDAD	ACCIONES	
DIARIO	INSPECCIÓN	Pérdidas de aceite
		Cuchillas del cabezal
		Recorrido fibras
		Presión de aire
		Fugas y drenaje
SEMANAL		Filtros
DIARIO	LIMPIEZA	Pérdidas de aceite
		Rodillo reinicio cabezal
		Cuchillas del cabezal
		Rodillos de presión
		Recorrido fibras
SEMANAL		Filtros

Fig. 168. Estándar de inspección y limpieza

La mayoría de las acciones recogidas en los de acciones a realizar por el personal de la máquina eran consideradas hasta el momento como competencia del personal de mantenimiento.

Para facilitar el cumplimiento de los estándares se hace uso del control visual a través de señales códigos de colores, carteles... También se crea un registro de control de cumplimiento que ayuda al operario a cumplir sus tareas de automantenimiento. El registro es recogido semanalmente por el responsable de producción y entregado al departamento de mantenimiento. Le servirá como análisis de la situación e histórico de anomalías.

SEMANA:		REGISTRO CONTROL AUTOMANTENIMIENTO				
OPERARIO:						
INSPECCIÓN	L	M	X	J	V	
Pérdidas de aceite						
Cuchillas del cabezal						
Recorrido fibras						
Presión de aire						
Fugas y drenaje						
Filtros						
LIMPIEZA	L	M	X	J	V	
Pérdidas de aceite						
Rodillo reinicio cabezal						
Cuchillas del cabezal						
Rodillos de presión						
Recorrido fibras						
Filtros						
ANOMALIAS DETECTADAS / OBSERVACIONES						

Fig. 169. Registro Automantenimiento

El mantenimiento del buen estado del equipo evita la aparición de averías con la consiguiente eliminación de tiempos de parada y mejora el funcionamiento del departamento de mantenimiento por la descarga de trabajo y el menor número de actuaciones de emergencia necesarias.

Durante los primeros meses de aplicación del automantenimiento los responsables deben auditar el buen funcionamiento del método. Para ello hacen uso de los registros anteriores y de la observación directa a nivel de planta.

El automantenimiento debe integrarse en la cultura de mejora continua de la organización, por lo que tanto los estándares como las competencias del personal de máquina en cuanto a mantenimiento deben ir actualizándose y mejorándose.

Las averías mas repetitivas que requieran de técnicos de mantenimiento deben realizarse con la ayuda del operador de máquina, de forma que puedan ir implantándose nuevas tareas de automantenimiento.

El objetivo es que el personal de máquina tenga cada vez más independencia a la hora de mantener el equipo, siempre que las tareas diarias no le lleven más de unos 15 minutos por turno y tenga recursos necesarios para hacer las reparaciones de forma óptima y segura. Para ello es imprescindible la formación continua de los trabajadores.

Siempre debe recordarse que la última responsabilidad del mantenimiento del equipo es del propio departamento, siempre que el operario haya actuado dentro de las normas establecidas, por tanto debe hacerse de forma continua el seguimiento a las actuaciones del personal de máquina, asegurando que todo lo hacen correctamente.

5.3.4. PROPUESTA DE MEJORA 10. Autonomatización

Esta mejora es la última que se plantea durante la participación del estudiante en el proyecto de Lean. Esto unido a que es planteado a largo plazo motiva que en el presente proyecto solo se exponga el inicio de su desarrollo.

La autonomatización consiste en transferir la inteligencia del hombre a la máquina. Su objetivo principal es hacer que la máquina detecte cualquier fallo o desviación, se detenga automáticamente y avise al operador. Reduce los defectos de calidad y tiempos de paradas producidos por errores.

Con la autonomatización se busca que la máquina pare cuando haya algún problema para evitar avería o fallos en los productos producidos por un mal funcionamiento.

La máquina FP en la mayoría de los casos en que se presente algún problema no para. Si esto ocurre cuando el operario no está presente, la máquina continúa laminando y arrastra el problema.

Por ejemplo, si el material no pega bien debido a un mal funcionamiento de la antorcha (que le da al material la pegajosidad adecuada) y el operario está en su descanso, la máquina continuara soltando material pero sin que éste quede sobre el útil.

Con la implantación de la autonomatización se conseguiría que la máquina detectara el problema, parara y lanzara alguna señal (acústica, visual...) al operario, de forma que el tiempo de parada fuera el mínimo posible, y el problema surgido no acarreará más problemas colaterales. En definitiva, se eliminarían varias causas de paradas de máquina y disminuiría el tiempo de parada.

El Lean manager reúne al equipo Lean en una sesión de formación sobre autonomatización. En esta sesión se exponen y explican al equipo las

bases teóricas de la automatización y las posibles oportunidades que se observan a priori en las máquinas "Fiber Placement".

Tras la formación se pasa a analizar los problemas más repetitivos que presenta la máquina entre todo el equipo Lean. En este análisis es muy importante la participación de los operarios de la máquina. De cada problema se anota si la máquina para o no cuando surge.

PROBLEMAS DE LAS MÁQUINAS Análisis autonomación	MÁQUINA	
	1	2
Fallo de corte	P	P
Fallo de tensión	P	P
Escape de tensión	P	P
Atasco de film	P	P
Arollamiento en compactador	NP	NP
Carrete mal metido	P	P
Rollo material terminado	P	P
Fin de capa	P	P
Error ciclo	P	P
Error eje de alimentación de mechas	P	P
Error "bladder" en compactador	P	P
Presión aire bajo	P	P
Error servos	P	P
Error fibra óptica	P	P
Error de posicionamiento útil	P	P
Material defectuoso	P	P
Antorcha - exceso temperatura	P	P
Antorcha - termopar	P	P
Caída de espira de material	P	P
Invasión de zona máquina	P	P
LEYENDA	P = Para NP = No para ni avisa	

Fig.170. Listado problemas máquina

Inicialmente, se decide solicitar información al fabricante de la máquina sobre sistemas Andon (despliegue de luces o señales acústicas que indican las condiciones de trabajo) y posibilidades de "modo seguro" y paradas automáticas.

6. CONCLUSIONES

6.1. LEAD TIME

Como ya se sabe, en Lean lo que no se mide no se conoce. Por tanto es necesario tener algún parámetro con el que se pueda comparar la situación inicial con la actual y final.

Al inicio de la implantación de todas las mejoras, se decide que sea el "Lead Time" de la carenas FSF este indicador. Por ello el Lead Time de estas piezas es medido a lo largo de todo el desarrollo del proyecto.

Por otro lado, de etapas anteriores se tenía un histórico del lead time de todas las piezas. Se recopilan los datos de los últimos meses previos al proyecto y se recogen en un gráfico. Como es un indicador muy variable, se hace una media con todos los datos representados en los gráficos.

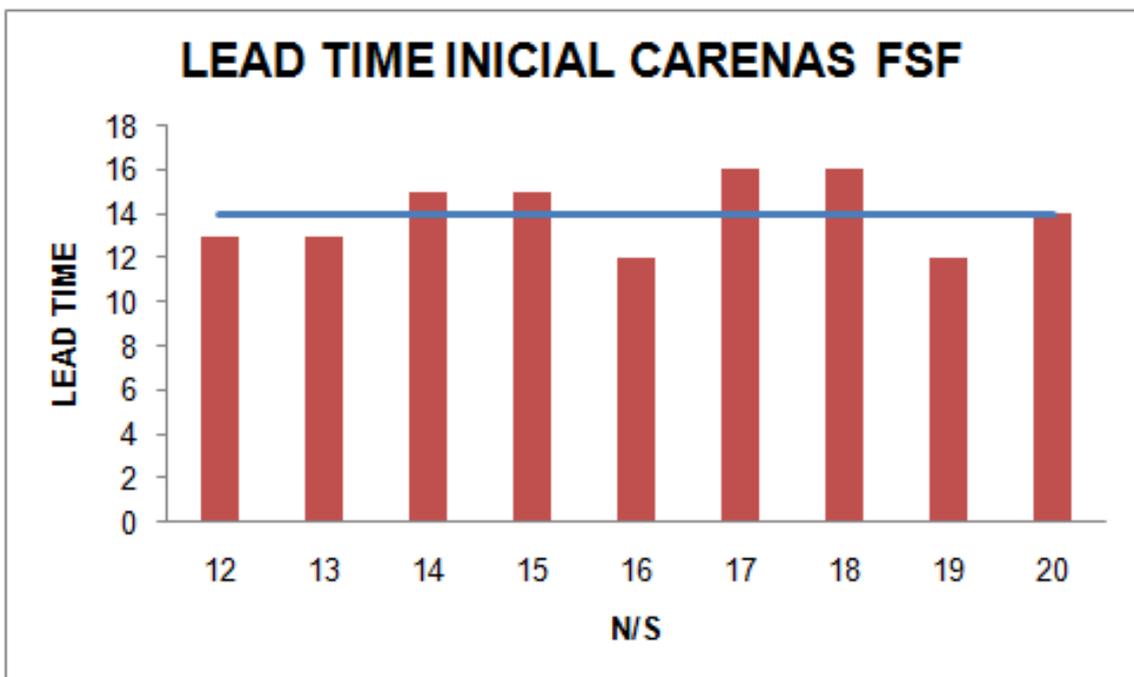


Fig. 171. Lead Time inicial FSF

Se toma como dato inicial para las posteriores comparaciones la media que es de 14 días. Es decir, el Lead Time de partida de las carenas FSF es de **14 días**.

A lo largo de la implantación de las distintas propuestas de mejora se sigue midiendo el dato de Lead time de las mismas piezas. Al final de la participación del estudiante en el proyecto de Lean Manufacturing, se recopilan los datos de los últimos meses y se muestran en un gráfico. En él también se representa la media, que será comparada con la obtenida anteriormente.

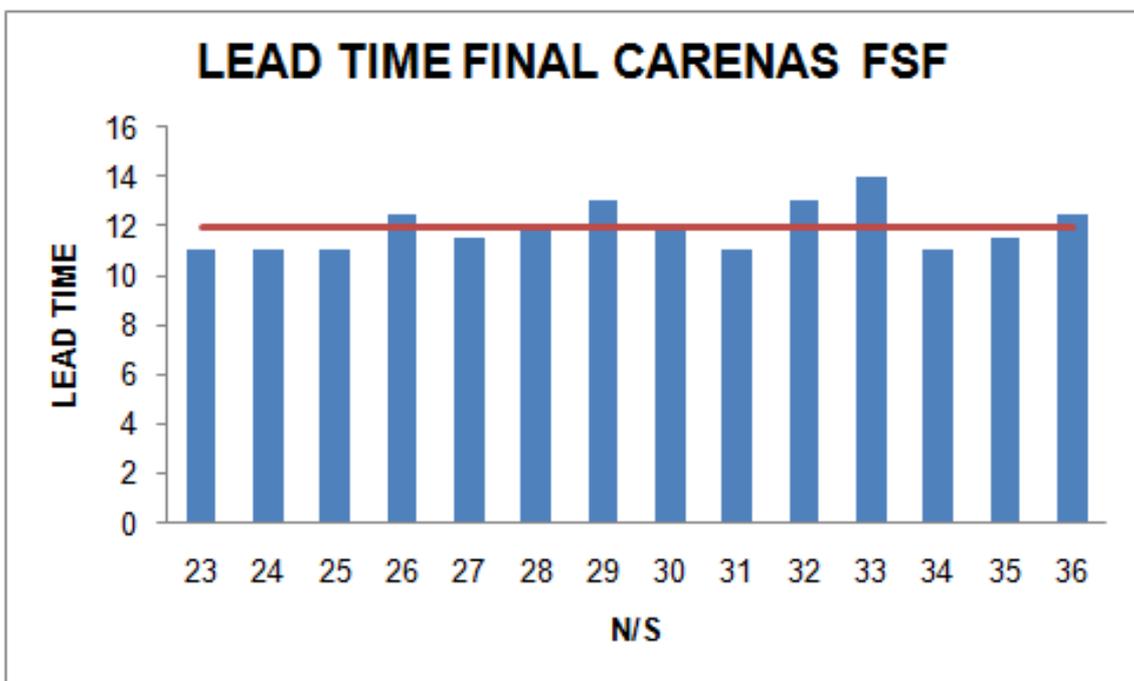


Fig. 272. Lead Time final FSF

Como se puede observar, la media de Lead Time de fabricación de las carenas FSF ha pasado a ser de 12 días, es decir, se ha conseguido una disminución del Lead Time de 2 días.

6.2. TIEMPOS DE PARADA DE MÁQUINAS

Otro parámetro que se puede utilizar para evaluar los resultados de la implantación de la filosofía Lean es el tiempo de parada de máquinas.

Estos datos han sido monitorizados desde el inicio del proyecto hasta el momento considerado como final. Por ello comparando los datos iniciales y los finales, no solo se puede ver si han disminuido o no, sino que podemos saber donde se han conseguido mas resultados y donde aun es necesaria la mejora.

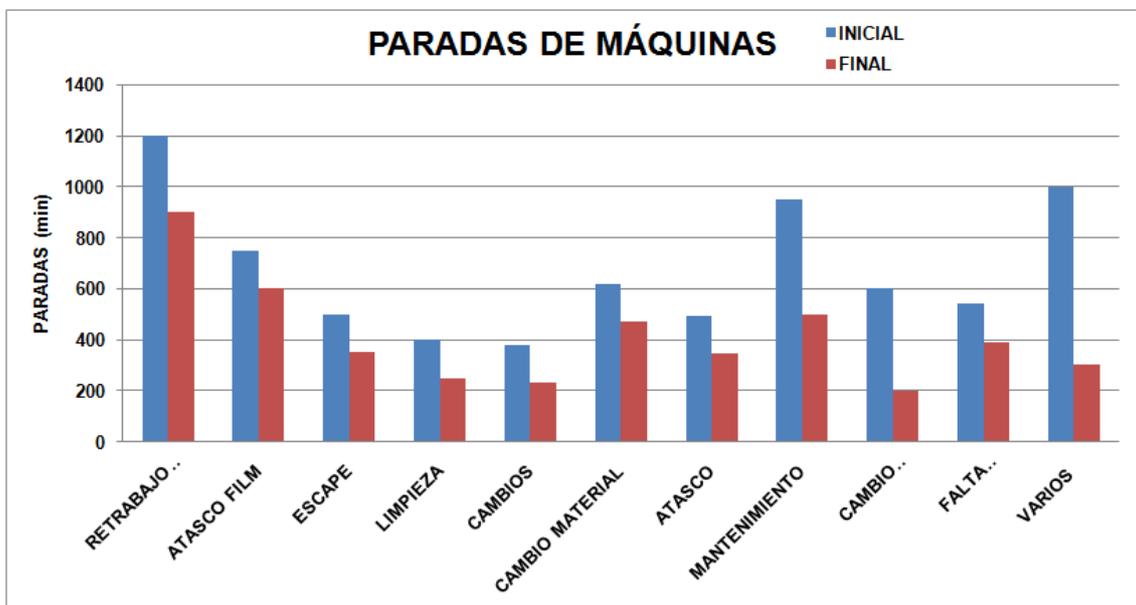


Fig. 173. Evolución Paradas de máquina

Se observa claramente la reducción en todas las categorías, sobre todo en mantenimiento (gracias al automantenimiento), el cambio de útil (gracias a SMED) y la categoría varios (se centraron los esfuerzos en concretar más las causas de paradas). Con esta disminución de paradas de las máquinas se consigue aumentar su rendimiento alrededor de 200 horas al año.

Estos resultados ponen en evidencia el gran esfuerzo realizado por todo el personal en la implantación de la filosofía Lean y la capacidad de las herramientas usadas para acabar con los desperdicios del sistema productivo (con la consiguiente reducción de costes).

7. ANEXOS

7.1. ANEXO I. VALUE STREAM MAPPING (VSM)

Como su nombre indica el mapeo de la cadena de valor (VSM) es una descripción gráfica de la cadena de valor de un proceso productivo. Es una herramienta que permite visualizar la cadena de suministro como un conjunto de operaciones, evitando el tratamiento de cada operación de forma aislada.

La cadena de valor son todas las acciones (tanto las que añaden valor como las que no) que son necesarias llevar el producto a través del flujo de diseño (desde el concepto hasta el lanzamiento) y a través del flujo de producción (desde la materia prima hasta el cliente).

EL VSM permite comprender a la organización el flujo de materiales y de información de un producto.

El flujo de materiales es el camino físico que siguen los materiales desde el proveedor hasta el cliente pasando por todos los procesos de transformación del producto, y el de información es lo que le dice a cada proceso que hace a continuación.

Para que esta herramienta cumpla su objetivo deben seguirse 3 pasos:

1. MAPEO DE LA CADENA DE VALOR DEL ESTADO INICIAL.

Representación de lo que ocurre en el momento del análisis. Para ello se aconseja analizar en profundidad todo lo que acontece en el proceso "in situ" y en tiempo real.

2. MAPEO DE LA CADENA DE VALOR DEL ESTADO FUTURO.

Representación del punto al que se quiere llegar. Hay que identificar las causas del desperdicio para conseguir mejorar los flujos.

3. PLANES DE ACCIONES. Tareas a llevar a cabo para conseguir el objetivo. Para crear este plan se hace uso del resto de herramientas Lean. El plan debe incluir objetivos, plazos y responsables y la implantación de las mejoras propuestas debe ser revisada mediante el plan de seguimiento.

7.1.1. Información necesaria para elaborar el VSM

Para poder dibujar el VSM es necesario recopilar una serie de información acerca del proceso:

- **FRONTERAS DEL MAPA.** Se suele trabajar a nivel de planta, desde que llegan las materias primas hasta que se envían los productos terminados a los clientes.

- **FAMILIA DE PRODUCTOS.** Es muy complicado dibujar los flujos de todos los productos de la planta y no se obtendría una imagen clara, con lo cual el VSM no cumpliría su función básica. Además, a cada cliente le importa su producto y cada organización debe buscar siempre satisfacer a sus clientes. Por lo tanto lo más lógico es centrarse en una familia concreta de productos.

- **INFORMACIÓN DEL PROCESO.** Es imprescindible conocer todos los datos relacionados con el proceso como es el "*takt time*", el "*lead time*", los tiempos de cambios de ciclos, los tiempos de esperas, el número de operarios y de turnos de trabajo...

7.1.2. Términos necesarios para elaborar el VSM

Además para crear el VSM se deben conocer una serie de términos y conceptos como son:

- **Tiempo de ciclo. (C/T).** Cada cuanto tiempo un producto es completado por un proceso.

- **Tiempo de valor añadido (TVA).** Tiempo de los procesos por lo que el cliente está dispuesto a pagar.

- **Lead Time (L/T).** Es el tiempo de suministro, es decir, el tiempo que necesita un material para pasar a través de toda la cadena de valor. de principio a final.

- **Tiempo de cambio de formato (C/O).** Tiempo necesario para pasar de producir un producto "tipo A" a un producto "tipo B".

7.1.3. Simbología estandarizada usada para elaborar el VSM

Como se ha dicho el VSM utiliza una simbología estandarizada que es necesario conocer tanto para entender como para dibujar el mapa.

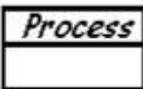
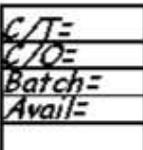
 <p>Fábrica</p>	<p>Este icono representa al cliente cuando se sitúa en la parte derecha del mapa y al proveedor cuando se sitúa en la parte izquierda.</p>
 <p>Caja de proceso</p>	<p>Este icono puede ser un proceso, una operación, una máquina o un departamento a través del cual existe un flujo continuado de material.</p>
 <p>Caja de datos</p>	<p>Este icono se sitúa debajo de las cajas de proceso y contiene la información o datos significantes para analizar el sistema, como el tiempo de ciclo, el tiempo de cambio de formato, la productividad del proceso, o el número de operadres necesarios para llevarlo a cabo.</p> <p>Si se sitúa debajo del icono de un fábrica, contiene la frecuencia de envío de los proveedores, o la demanda de los clientes y su distribución por tipo de producto.</p>
 <p>Celda de trabajo</p>	<p>Este icono representa que varios procesos han sido integrados en una celda de trabajo donde existe un flujo continuo.</p>

Fig. 174. Símbolos de procesos.

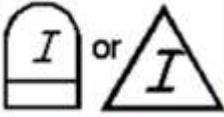
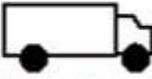
 <p>Inventario</p>	<p>Estos iconos representan puntos de inventario intermedio entre dos procesos. También representan el inventario de materias primas y el de producto terminado. Debajo de este icono se indica la cantidad de material que representa, en número de artículos o en días de venta.</p>
 <p>Envios</p>	<p>Estas flechas representan el movimiento de material entre los proveedores y la planta o entre la planta y los clientes.</p>
 <p>flecha "push"</p>	<p>Esta flecha rallada representa el "push" o empuje de material de un proceso a otro. El modo de trabajar "push" significa que un proceso produce una cantidad determinada sin preocuparse de las necesidades del proceso siguiente.</p>
 <p>Supermarket</p>	<p>Este icono representa un "supermarket" organizado con kanbans. Como un supermercado, tiene en una "estantería" una pequeña cantidad de producto para el cliente. Cuando el cliente lo retira de la estantería, el proceso anterior a este supermarket se ocupa de rellenar el hueco que ha quedado. Cuando el flujo continuo no puede ser implementado, los supermarkets ayudan a reducir el stock.</p>
 <p>Pull</p>	<p>Los supermarkets están conectados a los procesos siguientes en modo de "pull" ya que es el siguiente proceso el que "estira" la producción, haciendo que se produzca justamente lo que ha retirado del supermarket.</p>
 <p>FIFO</p>	<p>Inventario donde se sigue la regla del First-In-First-Out, siendo lo primero que ha entrado lo primero que sale.</p>
 <p>Stock de seguridad</p>	<p>Este icono representa la parte de stock adicional para prevenir el sistema de posibles fluctuaciones en la demanda de los clientes o debido a alguna avería en el sistema.</p>
 <p>Envios externos</p>	<p>Envios de materias primas por parte de los proveedores o envios de producto terminado hacia el cliente, usando transporte externo.</p>

Fig. 175. Símbolos de material.

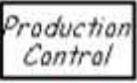
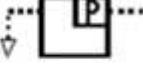
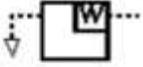
 Planning	<p>Esta caja representa el departamento que controla y planifica la producción, normalmente conocido como departamento de Planning.</p>
 Info manual	<p>Una flecha delgada y recta representa el flujo de información general como informes, planes de producción, reportes y demás que son enviados vía manual a través de las personas.</p>
 Info electronica	<p>Esta flecha delgada en forma de zig-zag representa el flujo de información electrónica vía Internet, Intranets, o LANs.</p>
 Production Kanban	<p>Este icono representa el indicador que dice qué es lo que se tiene que producir y en qué cantidad.</p>
 Withdrawal Kanban	<p>Este icono representa el indicador que dice qué productos y qué cantidad ha retirado de un supermarket el proceso siguiente.</p>
 Kanban Post	<p>Es el sitio donde están los indicadores kanban. Normalmente se usa como kanban un sistema de 2 targetas para indentificar si es un production o un withdrawal kanban.</p>
 Load Leveling	<p>Este icono representa la nivelación de la mezcla de producción.</p>
 Go See	<p>Representa que hay que encontrar la información por método visual.</p>
 Verbal Information	<p>Este icono represeta el flujo de información verbal.</p>

Fig. 176. Símbolos de información.

7.1.4. Pasos para elaborar el VSM

1. Dibujar los clientes y proveedores.

El mapeo empieza con las necesidades del cliente, es decir la demanda. Se representará el cliente con el icono de una fábrica situado en la derecha del mapa. Bajo el icono se coloca una caja con la demanda del cliente (volumen medio y distribución). De la misma manera se dibuja el proveedor, pero en la parte izquierda del mapa.

2. Dibujar los procesos productivos.

El siguiente paso es dibujar los principales procesos de producción. Para indicar un proceso se utiliza una caja de proceso. Las cajas de proceso se sitúan normalmente de izquierda a derecha si son sucesivos y en paralelo si son simultáneos. Bajo cada caja se dibuja una caja de datos donde se escribe la información de cada proceso como el tiempo de ciclo, el tiempo de cambio, número de operarios...

3. Representar los puntos de stock.

Cuando entre los procesos existen puntos donde se acumula el inventario y donde el material deja de fluir se representa con el icono del triángulo situado entre las cajas de procesos. Si escribe el tiempo o la cantidad de stock.

4. Dibujar la entrada y salida de material.

El flujo de materiales desde el almacén hasta el cliente se representa con el icono de una flecha y un camión con la frecuencia de envío de materiales. También se a continuación se dibuja el flujo de material entre los proveedores y la planta con el mismo símbolo .

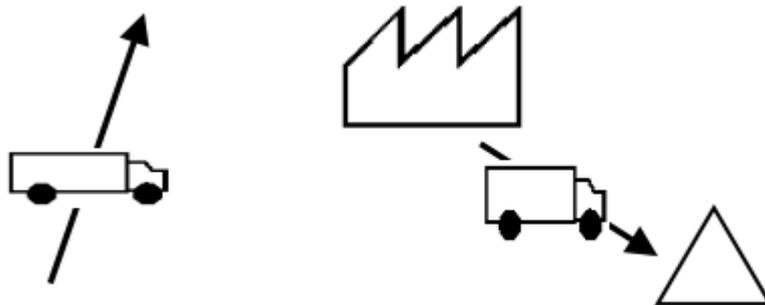


Fig. 177. Flujo de materiales

5. Dibujar los flujos de información.

El flujo de información puede ser las previsiones de ventas, los planes de producción, los planes de envío...

Para representarlo se utilizan flechas estrechas y rectas si la información es en papel y en zigzag si es electrónica

6. Dibujar la relación entre los procesos.

Para representar la relación entre los procesos se utilizan flechas blancas o ralladas, en función de si trabajan en modo "pull" o "push".



Fig.178. Flechas de relación entre procesos.

7. Dibujar las líneas de tiempo.

El último paso es dibujar las líneas de tiempo. Se colocan debajo de los procesos y se incluyen los datos de tiempos de ciclo, de tiempos de inventarios...

Al sumar todos los tiempos reflejados en la línea se obtiene el "Lead Time" del proceso, el tiempo de valor añadido (TVA) y el tiempo de valor no añadido (TVNA).

El esquema general de un mapa VSM es el que se ve en la imagen siguiente:

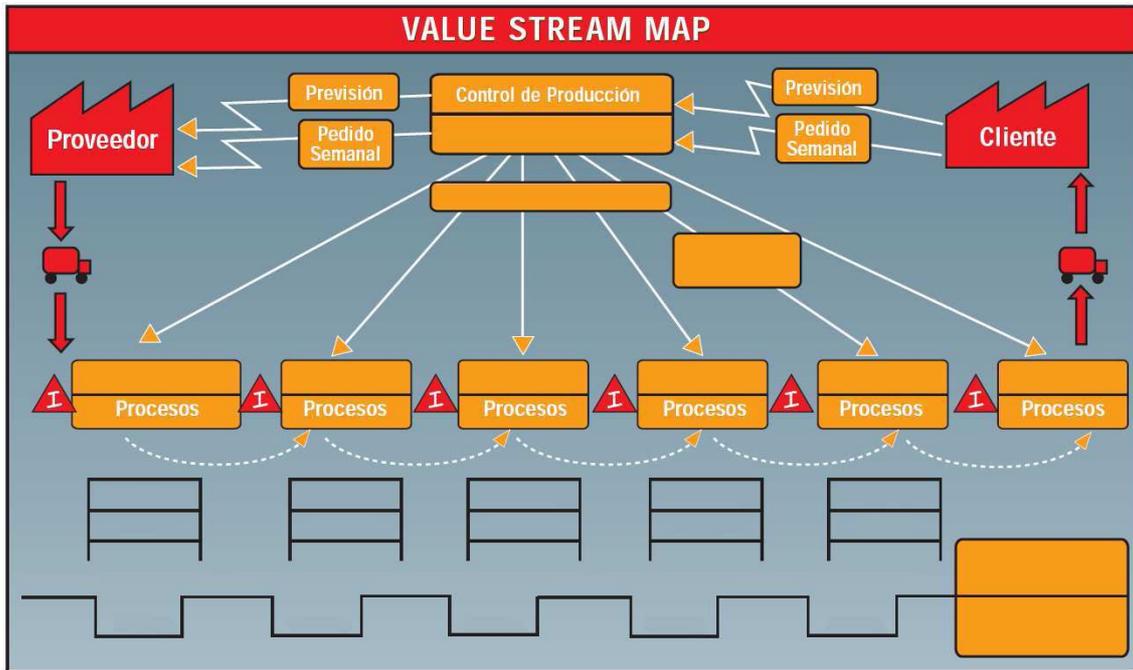


Fig. 179. Ejemplo de VSM

7.2. ANEXO II. PLANES DE ACCIÓN

Los planes de acciones de mejora recogen las tareas a ejecutar para conseguir la eliminación de los desperdicios y se sus causas. Estas tareas se deciden haciendo uso de las distintas herramientas Lean.

Los planes de acciones además indican los responsables de cada tarea y las fechas de inicio, fin y seguimiento de las acciones.

Son documentos vivos, ya que siempre que aparecen nuevas soluciones deben incluirse. Además, deben reflejar la situación del cumplimiento de los objetivos en el tiempo.

En nuestro caso, el plan de acciones se revisa mínimo una vez a la semana, por lo tanto, semanalmente aparece una nueva revisión del mismo. También se actualiza cuando, mediante el desarrollo de cada *Project Charter*, surgen nuevas acciones y oportunidades.

A continuación se presentan a modo de ejemplo el plan de acciones inicial y una de las revisiones hechas a lo largo del desarrollo del proyecto.

Al compararlos se observa que las acciones van avanzando y aparecen nuevas tareas en cada revisión.

Aplicación de las herramientas de "Lean Manufacturing" en el área de Fiber Placement de una planta aeronáutica.

PLAN DE ACCIONES					FECHA ACTUALIZACIÓN:				
Oportunidad	Proyecto	Acción	Revisión de Procesos Productivos	RESPONSABLES		Pendiente	En curso	Terminado	OBSERVACIONES
				Resp.	Grupo	FECHAS			
						Inicio	Fin	Revisión	
BLOQUE I									
ORDEN DE PRODUCCIÓN									
X			Los operarios de la máquina no siempre conocen la planificación						
		X	Aplicación de paneles informativos						Se tratará en proyecto de House-Keeping
X			Piezas de desarrollo. Suele haber falta de información en la Orden de Producción						
X			No siempre hay apoyo de ingeniería. No hay a quien acudir por falta de información. (También ensayos)						
		X	Planificar reunión con ingeniería.			30-abr-07	30-abr-07	-	
		X	Mejorar documentación de trabajo			30-abr-07	30-may-07	15-may-07	
BLOQUE II									
MATERIALES									
X			Buscar material en nevera. Materiales usados, caducados o recalificados						
		X	Organizar nevera			29-mar-07	31-may-07	15-abr-07	Apareceran nuevas tareas a partir de ésta.
X			La OP no siempre muestra el material a usar						
		X	Optimizar el tamaño de bobina y fecha, así como de la caducidad y fecha del lote			19-abr-07	30-may-07	30-abr-07	Ver con proveedor
X			Camino entre nevera y puesto de máquina lleno de obstáculos						Se tratará en proyecto de House-Keeping
BLOQUE III									
INTRODUCCIÓN DE DATOS									
X			Sólo hay un ordenador al lado de la máquina 1. No se pueden introducir datos y vigilar la máquina a la vez. En la máquina 1 es posible introducir los datos mientras se lamina, pero no en la máquina 2, que tiene que estar parada						
		X	Colocar el ordenador en otra situación intermedia o poner uno en cada máquina			19-abr-07	30-may-07	30-abr-07	
X			Hay que introducir datos de bobina a mano porque aunque en la máquina 2 hay lector de código de barras, no lo tenemos habilitado						
		X	Contactar con proveedor para solicitar entrega de material con código de barra adecuado para el lector.			26-abr-07	30-may-07	10-may-07	
		X	Montar el lector de código de barras en M1			26-abr-07	30-may-07	10-may-07	
BLOQUE IV									
MONTAJE Y ENHEBRADO									
X			Llevar los rollos a mano a la zona de carga de la máquina						
X			Sistema de anclaje de rollos más lento en la máquina 2						
		X	2 operarios para posicionar los rollos			10-may-07	15-jun-07	30-may-07	
		X	2 operarios para enhebrar las mechas			10-may-07	15-jun-07	30-may-07	
X			Reducir tiempo de enhebrado de mechas						
		X	Reunión mejora tiempo de carga/descarga material			10-may-07	10-may-07	-	
BLOQUE V									
MONTAJE ÚTIL									
X			La operación de cambiar la interfaz es peligrosa.						Se hará un proyecto independiente para este bloque.
X			Problemas con puente grúa y centro de gravedad del utillaje						
X	X		Herramientas no adecuadas para apretar los tornillos						
X			Existen 3 cabezas distintas para los tornillos del mismo útil						
X			Pudiéndose hacer esta operación con la máquina trabajando, se para porque hay un solo operario de máquina por turno						

Fig. 180. Plan de acciones Rev.0 (inicial)

Aplicación de las herramientas de "Lean Manufacturing" en el área de Fiber Placement de una planta aeronáutica.

PLAN DE ACCIONES					FECHA REVISIÓN: 02-may	
Revisión de Procesos Productivos	INDICADOR DE CUMPLIMIENTO	Pendiente	En curso	Terminado		OBSERVACIONES
		RESPONSABLE	GRUPO TRABAJO	Fechas		
				Inicio	Fin	
ORDEN DE PRODUCCIÓN						
Los operarios de la máquina no siempre conocen la planificación						Pendiente de panel de comunicación
Aplicación de paneles informativos				1-feb	20-may	Pendiente de panel de comunicación
Piezas de desarrollo. Suele haber falta de información en la Orden de Producción				30-jun		
No siempre hay apoyo de ingeniería. No hay a quien acudir por falta de información. (También ensayos)				30-jun		
MATERIALES						
Buscar material en nevera. Materiales usados, caducados o recalificados				29-mar	31-may	Limpieza hecha, materiales para mantener orden pedidos (cajas, etc). 60 minutos/cambio. 50
No siempre se hace caso a la orden de SAP de señalar material (material caducado)			Andres, Carlos	24-abr	31-may	Relacionado con #6
SAP lanza ordenes sin que haya materiales en almacén. Implantar control de inventario para mejorar planificación y reducir material caducado			Andres, Carlos	24-abr	31-may	Inventario no gestionado por ningún programa informático. Implementar control informático y utilizar para planificación y control de stock
Optimizar el tamaño de bobina y fecha, así como de la caducidad y fecha del lote				19-abr	31-may	Problema desaparece con tres turnos
Camino entre nevera y puesto de máquina lleno de obstáculos				29-mar	31-may	
INTRODUCCIÓN DE DATOS						
Sólo hay un ordenador al lado de la máquina 1. No se pueden introducir datos y vigilar la máquina a la vez. En la máquina 1 es posible introducir los datos mientras se lamina, pero no en la máquina 2, que tiene que estar parada				26-abr		90 minutos/pza. 3 pza/semana. 41,25 sem/año
Hay que introducir datos de bobina a mano porque aunque en la máquina 2 hay lector de código de barras, no lo tenemos habilitado				26-abr	30-may	Diferencia de 30 minutos/pza entre las dos máquinas. Pendiente de proveedor de cambiar etiqueta
Contactar con Hexcell y Cytec para solicitar entrega de material con código de barra adecuado para el lector.		F.PEREZ				
Montar el lector de código de barras en M1		J.MATEO				Pdte. Analizar rentabilidad
MONTAJE Y ENHEBRADO						
Llevar los rollos a mano a la zona de carga de la máquina				10-abr		
Sistema de anclaje de rollos más lento en la máquina 2				10-abr		
2 operarios para posicionar los rollos				10-abr	30-abr	
2 operarios para enhebrar las mechas				10-abr	30-abr	
Reducir tiempo de enhebrado de mechas				10-abr		
Reunión mejora tiempo de carga/descarga material				10-abr		
CAMBIO Y PREPARACION UTIL (SMED)						
DEFINIR UBICACIÓN FUA DE ALMACENAMIENTO DE ÚTILES DE ENCINTADO		C.PEREZ		10-may	10-may	reducción de 30 min/cambio, 50 cambios/año
KIT / MALETIN CAMBIO DE HTAS.		GRUPO SMED	Demetrio Lopez Lidia Calvo	10-abr	31-may	
HERRAMIENTAS DEDICADAS?NECESIDAD?		GRUPO SMED	Demetrio Lopez Lidia Calvo	10-abr	31-may	
HERRAMIENTA NEUMÁTICA DE APRIETE (TORQUE DETERMINADO, ACOUPLE DE CODO)		GRUPO SMED	Demetrio Lopez Lidia Calvo	10-abr	31-may	
ESTANDARIZAR TORNILLOS		GRUPO SMED		29-jun		
CAMBIAR COGIDA DE MÁQUINA, ELIMINAR TORNILLOS	ACCION A LARGO			-	-	
PONER A PUNTO ÚTIL DE COGIDA DE ÚTILES (IZADO)		C.PEREZ/A DELGADO		30-abr	4-may	
IMPLANTAR TRASFERENCIA DE PUENTES GRUA	ACCION A LARGO	C.PEREZ				
MARCAR HORIZONTAL EN ÚTILES Y PUNTOS		GRUPO SMED		11-abr	30-jun	fr marcando útiles mientras se vaya utilizando
AVISAR CON ANTELACIÓN NECESIDAD DE PUENTE GRUA Y CESTA ELEVADORA		OPERARIOS FIBER		CONTINUO		
MEJORAR ANCLAJE DEL CONTRAPUNTO	ACCION A LARGO?	C.PEREZ				
REPONER AL HUSILLO LOS PRISIONEROS		S.COELLO		30-may	30-may	nota maximo 35170 (10/4/07)
ESTANDARIZAR PASARELAS (ENCODER)		GRUPO SMED		30-may	30-may	
WORKSHOP USO DE PASARELAS...		GRUPO SMED	Demetrio Lopez Lidia Calvo	30-may	30-may	
Identificar área de almacenamiento e informar a los operadores con la operativa		GRUPO SMED	Demetrio Lopez Lidia Calvo	20-abr	10-may	
REVISAR PROCESO DE TRABAJO FUTURO (ASIGNAR TAREAS, HTAS, NECESIDADES); TRABAJO SIN PASARELA, CAMBIO DE COUPLE Y ESLINGADO DE GRANDES ÚTILES		GRUPO SMED		11-abr	11-abr	
FORMAR AL GRUPO DE TRABAJO SOBRE LA NUEVA OPERATIVA		C.PEREZ		30-abr	30-abr	
IMPLANTAR FILOSOFÍA "AUTONOMACIÓN"						
IDENTIFICAR FALLOS EN FIBERPLACEMENT QUE NO SE DETECTA AUTOMÁTICAMENTE Y DETERMINAR SOLUCIONES			MANT. OPERARIOS	24-may		
MEJORAR AUTOMANTENIMIENTO						
REVISAR PROCESO DE TRABAJO, IDENTIFICAR NECESIDADES, SS, PROCEDIMIENTO				17-may		

Fig. 181. Plan de acciones Rev.9

Aplicación de las herramientas de "Lean Manufacturing" en el área de Fiber Placement de una planta aeronáutica.

PLAN DE ACCIONES					FECHA REVISIÓN: 26-jun	
Revisión de Procesos Productivos	INDICADOR	Pendiente	En curso	Terminado		OBSERVACIONES
		RESPONSABLE	GRUPO TRABAJO	Fechas		
				Inicio	Fin	
ORDEN DE PRODUCCIÓN						
Los operarios de la máquina no siempre conocen la planificación				1-feb	15-jun	Realizado. Mejora supuesta 2 horas / mes
Aplicación de paneles informativos				1-feb	15-jun	Realizado
Piezas de desarrollo. Suele haber falta de información en la Orden de Producción				30-jun	15-jul	
No siempre hay apoyo de ingeniería. No hay a quien acudir por falta de información. (También ensayos)				30-jun	15-jul	
MATERIALES						
Buscar material en nevera. Materiales usados, caducados o recalificados				29-mar	30-jun	Limpieza hecha, materiales para mantener orden pedidos (cajas, etc). 60 minutos/cambio, 50
No siempre se hace caso a la orden de SAP de señalizar material (material caducado)			Andres, Carlos	24-abr	20-jun	Aclarado con aprovisionamiento, el peón debe señalizar y segregar los materiales
Camino entre nevera y puesto de máquina lleno de obstáculos				29-mar	31-may	Tubos implantados 70% pendiente de tapa
INTRODUCCIÓN DE DATOS						
Sólo hay un ordenador al lado de la máquina 1. No se pueden introducir datos y vigilar la máquina a la vez. En la máquina 1 es posible introducir los datos mientras se lamina, pero no en la máquina 2, que tiene que estar parada		C.PEREZ	S.COELLO			90 minutos/pza. 3 pza/semana, 41,25 sem/año
Estudiar emplazamiento del ordenador y solicitar el cambio.		C.PEREZ	C.PEREZ, DEMETRIO, LIDIA, M. MURAS	26-abr	18-may	Definido el sitio y solicitado el cambio (08/05/2007)
Realizar el cambio		C. PEREZ	S. COELLO			
Hay que introducir datos de bobina a mano porque aunque en la máquina 2 hay lector de código de barras, no lo tenemos habilitado				26-abr	30-may	Diferencia de 30 minutos/pza entre las dos máquinas. Pendiente de proveedor de cambiar etiqueta
Contactar con Hexcell y Cytec para solicitar entrega de material con código de barra adecuado para el lector.		F.PEREZ		1-may	30-may	EFFECTIVIDAD MEJORA??
Montar el lector de código de barras en M1		J.MATEO		15-may	30-jun	Pdte. Analizar rentabilidad
MONTAJE Y ENHEBRADO						
Llevar los rollos a mano a la zona de carga de la máquina			WORKSHOP 21-6-07	21-jun	30-jul	
Sistema de anclaje de rollos más lento en la máquina 2				21-jun	30-jul	
2 operarios para posicionar los rollos				21-jun	30-jul	
2 operarios para enhebrar las mechas				21-jun	30-jul	
Reducir tiempo de enhebrado de mechas				21-jun	30-jul	
Reunión mejora tiempo de carga/descarga material				21-jun	30-jul	
MEJORAR AUTOMANTENIMIENTO						
Definir alcance Workshop			VER ACTA AUTOMANTENIMIENTO 13/06/2007	23-may	14-jun	
Estandarizar limpieza				23-may	31-jul	Definida limpieza, en curso acciones 6 Sigma 2006 (aspirador+retenedor pelusa)
Gestión + Plan de reposición cuchillas + cilindros				23-may	10-ago	
Gestión + Plan de tornillería				23-may	10-ago	
Gestión + Plan de Bladder				23-may	10-ago	
5 S GENERAL						
REVISAR NECESIDADES DE ORGANIZACIÓN EN EL TALLER		C.PEREZ	C.PEREZ, DEMETRIO, LIDIA, LUCAS, OPERARIOS TALLER	8-may	30-may	S/ FICHERO "LISTADO NECESIDADES ORGANIZACIÓN TALLER"
SOLICITAR COMPRA		C.PEREZ	C.PEREZ / M.GRACIA	8-may	30-may	
IMPLANTAR		C.PEREZ	C.PEREZ / M.GRACIA	8-may	30-jun	

Fig. 182. Plan acciones Rev. 15 (I)

Aplicación de las herramientas de "Lean Manufacturing" en el área de Fiber Placement de una planta aeronáutica.

PLAN DE ACCIONES				FECHA REVISIÓN: 26-jun		
Revisión de Procesos Productivos	INDICADOR	Pendiente	En curso	Terminado		OBSERVACIONES
		RESPONSABLE	GRUPO TRABAJO	Fechas		
				Inicio	Fin	
CAMBIO Y PREPARACION UTIL (SMED)						
DEFINIR UBICACIÓN FLJA DE ALMACENAMIENTO DE ÚTILES DE ENCINTADO		C.PEREZ		10-may	10-may	reducción de 30 min/cambio, 50 cambios/año REALIZADO, JUNTO ESTACION 1
HERRAMIENTAS:			Demetrio Lopez Lidia Calvo			
KIT / MALETIN CAMBIO DE HTAS.		GRUPO SMED	Demetrio Lopez Lidia Calvo	10-abr	31-may	Pedido, pendiente de fecha. 40 min por cambio de útil, 50 cambios/año= 35 h / año
HERRAMIENTAS DEDICADAS.NECESIDAD.		GRUPO SMED	Demetrio Lopez Lidia Calvo	10-abr	31-may	Definidas htas. Y pídas
HERRAMIENTA NEUMÁTICA DE APRIETE (TORQUE DETERMINADO. ACOUPLE DE CODO)		GRUPO SMED	Demetrio Lopez Lidia Calvo	10-abr	31-may	
DEFINIR NECESIDAD, BUSCAR PROVEEDOR, COMPRA		C.PEREZ	Demetrio Lopez Lidia Calvo	1-abr	31-may	Definido, pdte. Visita proveedor. Plan alternativo si fracasa de colocar prolongador
ESTANDARIZAR TORNILLOS		GRUPO SMED		29-jun		Definida necesidad, aprovechamos parada semana 20 para modificar tornillos existentes
PONER A PUNTO ÚTIL DE COGIDA DE ÚTILES (IZADO)		C.PEREZ/A DELGADO		30-abr	4-may	Definida necesidad, aprovechamos parada semana 20 para modificar poner a punto utillaje
IMPLANTAR TRASFERENCIA DE PUENTES GRUA		C.PEREZ	M.GRACIA	15-may	1-sep	Previsto para el 20-5 plan de la empresa contratada para poner operativo las transferencias. Objetivo 01/09/2007.
MARCAR HORIZONTAL EN ÚTILES Y PUNTOS		GRUPO SMED		11-abr	30-jun	Mejora de una hora por cambio de útil = 50 horas / año
AVISAR CON ANTELACIÓN NECESIDAD DE PUENTE GRUA Y CESTA ELEVADORA		OPERARIOS FIBER		CONTINUO		
MEJORAR ANCLAJE DEL CONTRAPUNTO		C.PEREZ		15-may		Se realizará la mejora a partir de la semana 20, aprovechando la parada de máquina 1
REPONER AL HUSILLO LOS PRISIONEROS		S.COELLO		30-may	30-may	nota maximo 35170 (10/4/07)
ESTANDARIZAR PASARELAS (ENCODER)		GRUPO SMED		30-may	30-may	
WORKSHOP USO DE PASARELAS. ...		GRUPO SMED	Demetrio Lopez Lidia Calvo	3-may	3-may	
UBICACIÓN DE PASARELAS			Demetrio Lopez Lidia Calvo	3-may	3-may	
SEÑALIZACIÓN ZONA DESTINADA A PASARELAS			Demetrio Lopez Lidia Calvo	3-may	3-may	
REVISAR PROCESO DE TRABAJO FUTURO (ASIGNAR TAREAS, HTAS. NECESIDADES). TRABAJO SIN PASARELA, CAMBIO DE COUPLE Y ESLINGADO DE GRANDES ÚTILES		GRUPO SMED		11-abr	11-abr	
FORMAR AL GRUPO DE TRABAJO SOBRE LA NUEVA OPERATIVA		C.PEREZ		30-jun		Se implanta la no parada de máquina ante un cambio de útil- 1,5x50x(200-60)=10,500 eur
IMPLANTAR FILIOSFÍA "AUTONOMACIÓN"						
IDENTIFICAR FALLOS EN FIBERPLACEMENT QUE NO SE DETECTA AUTOMATICAMENTE Y DETERMINAR SOLUCIONES			MANT, OPERARIOS	10-jun	15-jul	
SOLICITAR A CINCINNATI PRESUPUESTO PARA "MODO SEGURO"+ SISTEMA DE DETECCIÓN ARROLLAMIENTO		M. GRACIA		10-jun	15-jul	Solicitado a Cincinnati 16-5-07
ESTUDIAR INVERSIÓN		C.PEREZ	GRUPO LEAN + M.GRACIA	10-jun	15-jul	PREVISION APROXIMADA Y PROVISIONAL: 1 h / turno / máquina x (206x3) turnos/año x 200 EUROS / hora = 123600 EUROS/ máquina a triple turno / año !!!!!!!
EVITAR QUE EL ARROLLAMIENTO OCURRA:				10-jun	15-jul	
MARCAR EN LOS ÚTILES DE LAMINADO LA ZONA EN LA QUE TENEMOS TODOS LO INICIO DE CURSO		F.PEREZ	F.PEREZ/ANTONIO DELGADO/OPERADOR ES MÁQUINA	10-jun	15-jul	
BUSCAR CINTA DE DOBLE CARA PARA MEJORAR ESTA OPERACIÓN		C.PEREZ	C.PEREZ / M. GUARDEÑO	10-jun	15-jul	
DEFINIR CRITERIO DE SUSTITUCIÓN DE SEGMENTOS (SUPERFICIE) PARA CADA TIPO DE COMPACTADOR (FSF O NORMAL)		C.PEREZ	C.PEREZ / M. MURAS	10-jun	15-jul	
POSIBILIDAD DE REPARAR SEGMENTOS		J.A. MATEO		10-jun	15-jul	
DEFINIR E IMPLANTAR UN PLAN DE LIMPIEZA DE MÁQUINA		C.PEREZ	GRUPO AUTOMANTENIMIENTO	10-jun	15-jul	

Fig. 183. Plan acciones Rev. 15 (II)

7.3. ANEXO III. CONTENIDO PANELES DE INFORMACIÓN

A continuación se expone la información más relevante mostrada en los paneles de información colocados en el área de materiales compuestos.

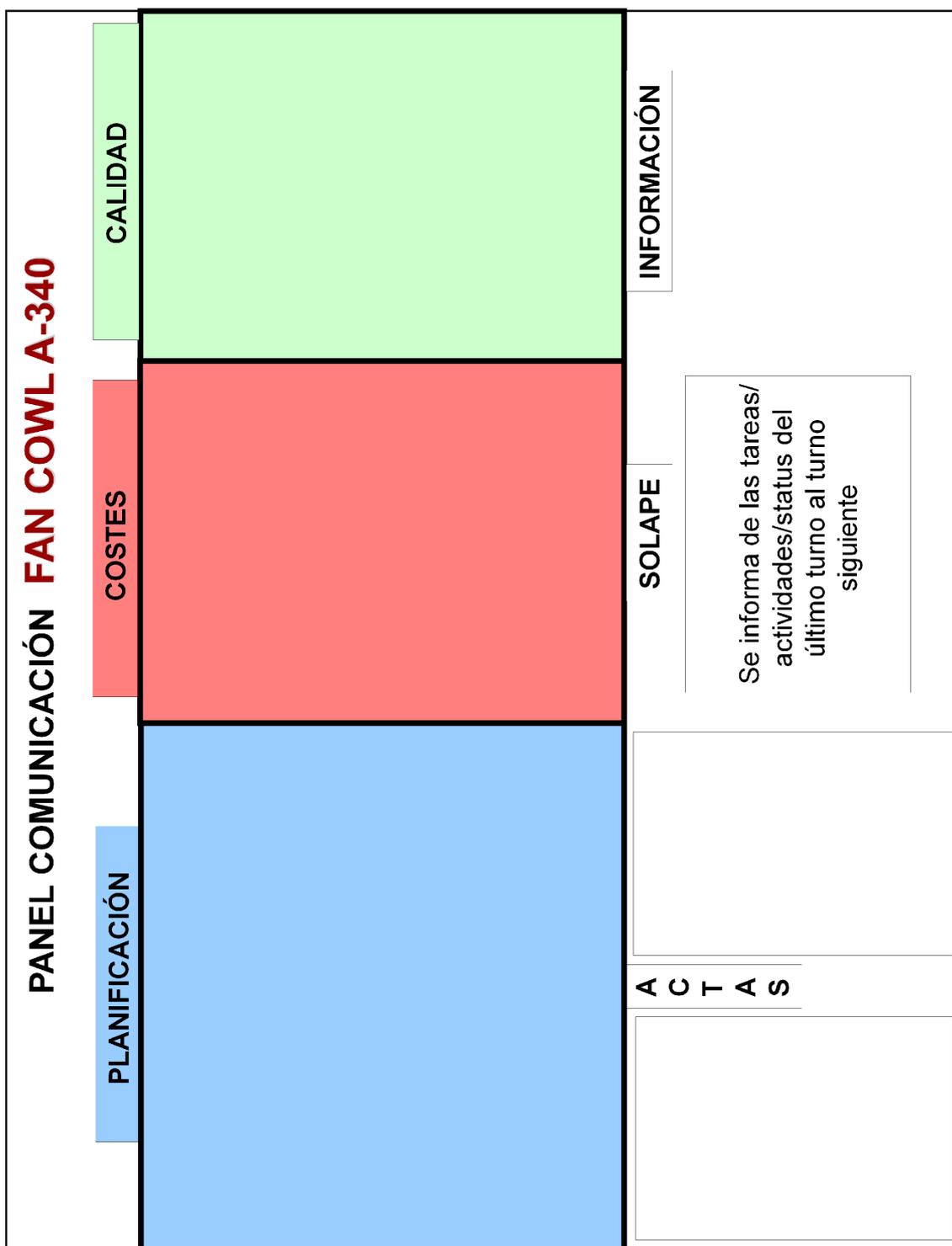


Fig.184. Esquema general de los paneles por programa

ACTA DE REUNIÓN DE 5 MINUTOS																					
FECHA _____ SEMANA _____ TURNO _____	AG _____ GBP _____ DIVISIÓN _____																				
LÍDER REUNIÓN: _____ N° PARTICIPANTES: _____ OBJETIVOS PRODUCCIÓN SEMANAL: _____ OBJETIVOS CALIDAD SEMANAL: _____																					
ORDEN DEL DÍA																					
<ol style="list-style-type: none"> 1º COMPARACIÓN DEL ESTADO DE LA OBRA RESPECTO OBJETIVO SEMANAL ¿EN FECHA? 2º COMPARACIÓN DEL ESTADO DE LA CALIDAD RESPECTO OBJETIVO SEMANAL ¿EN FECHA? 3º APRENDIZAJE SOBRE ERRORES EN EL MONTAJE Y APLICACIÓN DE MODIFICACIONES 4º INCIDENCIAS DEL DÍA ANTERIOR. ANALIZAR CAUSAS Y POSIBLES MEJORAS 5º INCIDENCIAS POSIBLES EN EL DÍA SIGUIENTE 6º SUGERENCIA DE MEJORA 	<table border="1" style="width: 100%; height: 50px;"> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> </table>																				
OBSERVACIONES																					
<table style="width: 100%;"> <tr><td style="width: 30px;">1º</td><td>_____</td></tr> <tr><td>2º</td><td>_____</td></tr> <tr><td>3º</td><td>_____</td></tr> <tr><td> </td><td>_____</td></tr> </table>		1º	_____	2º	_____	3º	_____		_____		_____		_____		_____		_____		_____		_____
1º	_____																				
2º	_____																				
3º	_____																				

TEMAS A ANALIZAR EN OTRAS REUNIONES																					
<table style="width: 100%;"> <tr><td>_____</td></tr> </table>		_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____										

FIRMA Y Vº Bº																					

Fig. 185. Acta de reunión diaria

REGISTRO DE INCIDENCIAS

AG _____
 GBP _____
 DIVISIÓN _____

ORDEN	SECCIÓN	PROBLEMA	TIEMPO INVERTIDO	Vº Bº RESPONSABLE	ACC. / +VALOR

FIRMA Y Vº Bº

Fig. 186. Acta de reunión diaria

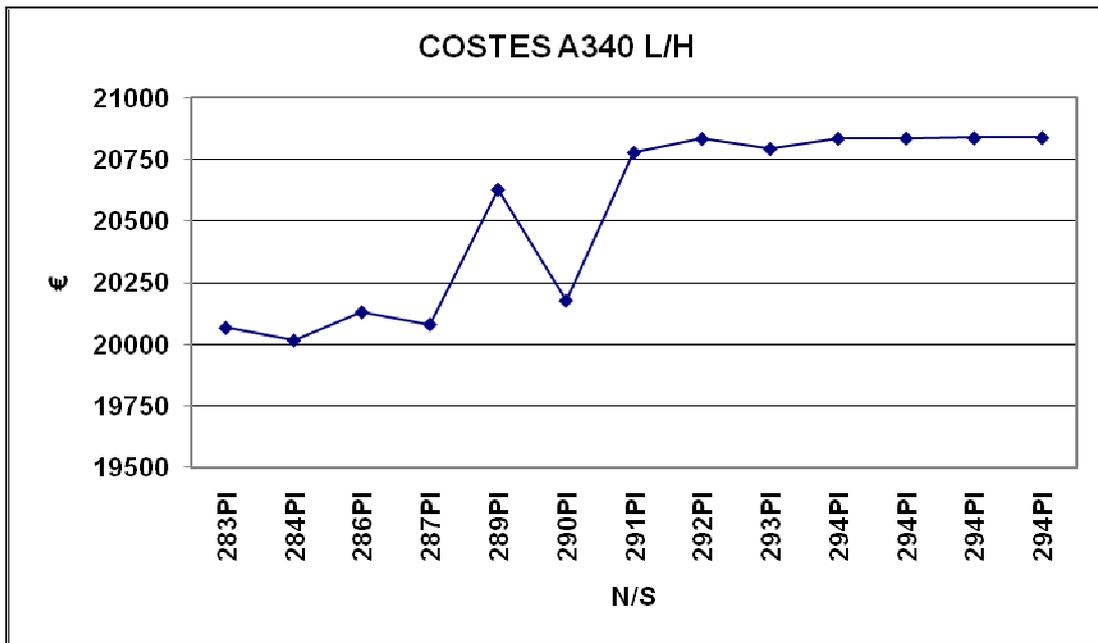


Fig. 187. Costes capó izquierdo A340

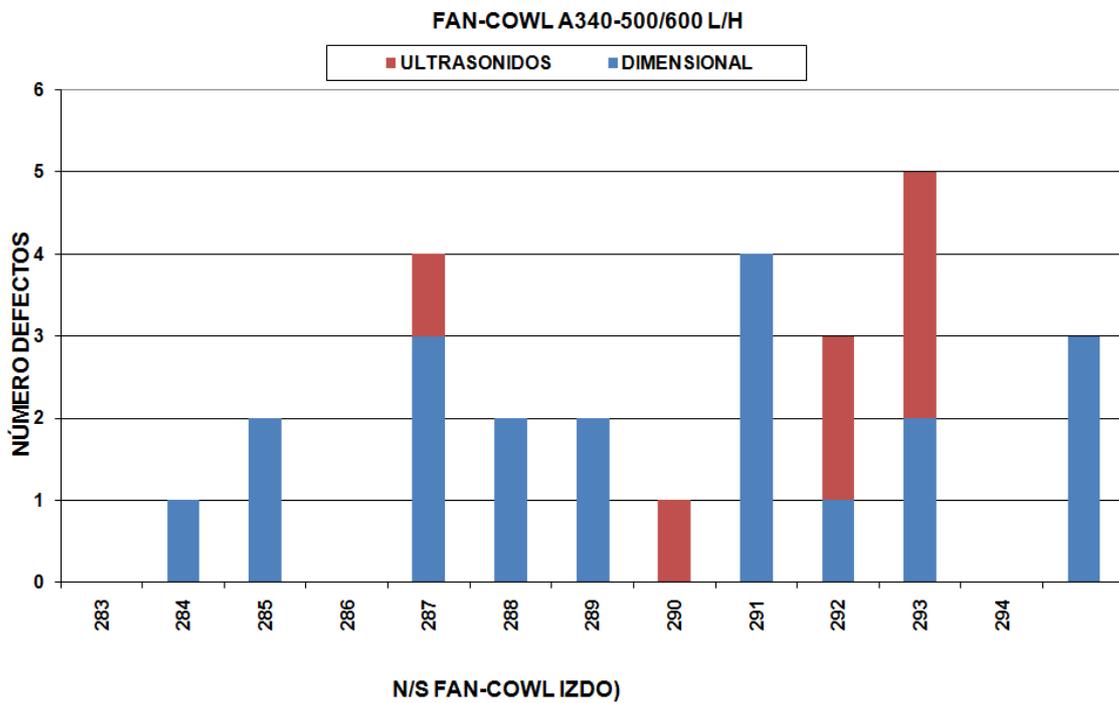


Fig. 188. Defectos capó izquierdo A340

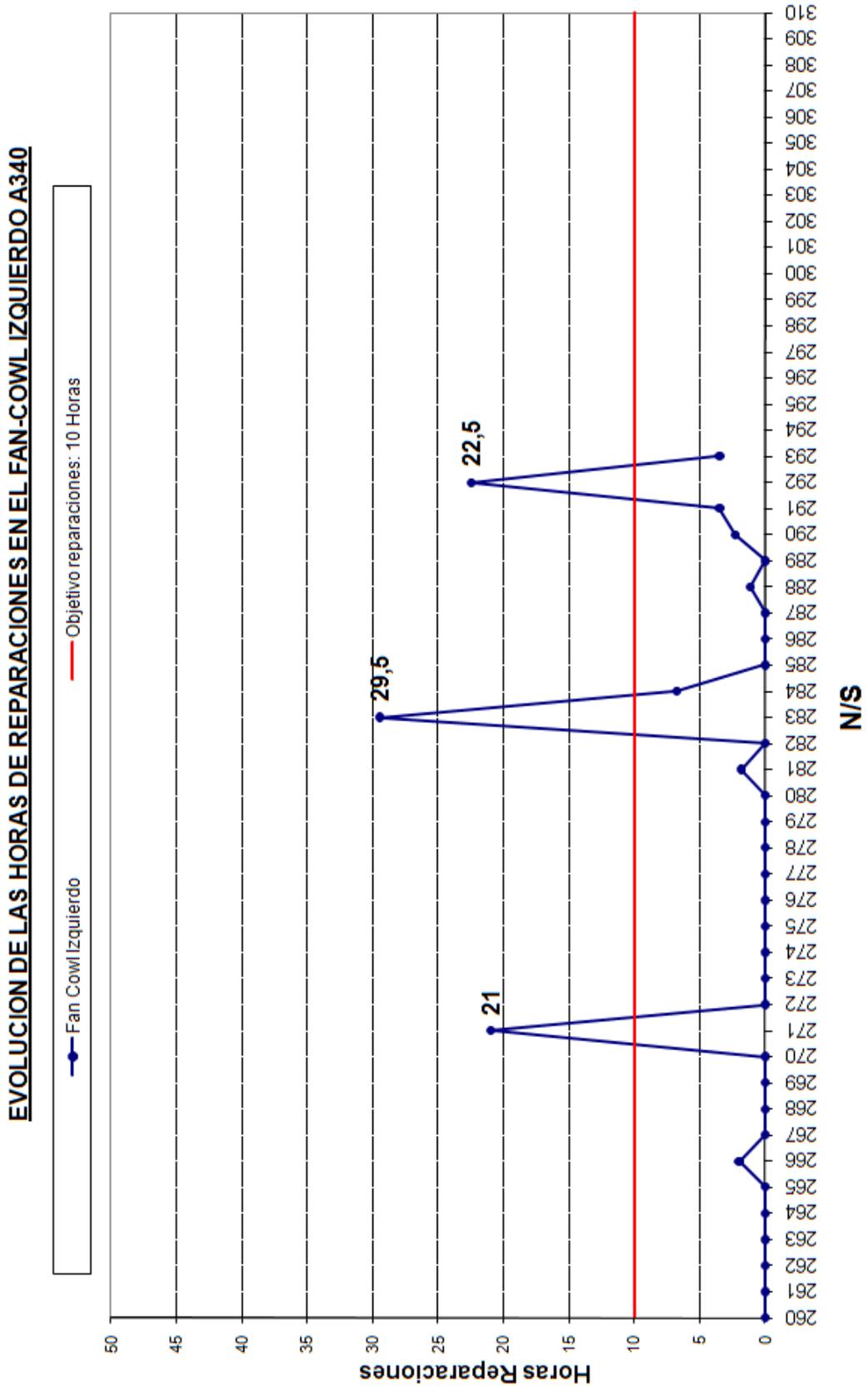


Fig.189. Horas de reparaciones capó izquierdo A340

EVOLUCIÓN DE LAS HORAS DE ACCIDENTALES EN EL FAN-COWL IZQUIERDO A340

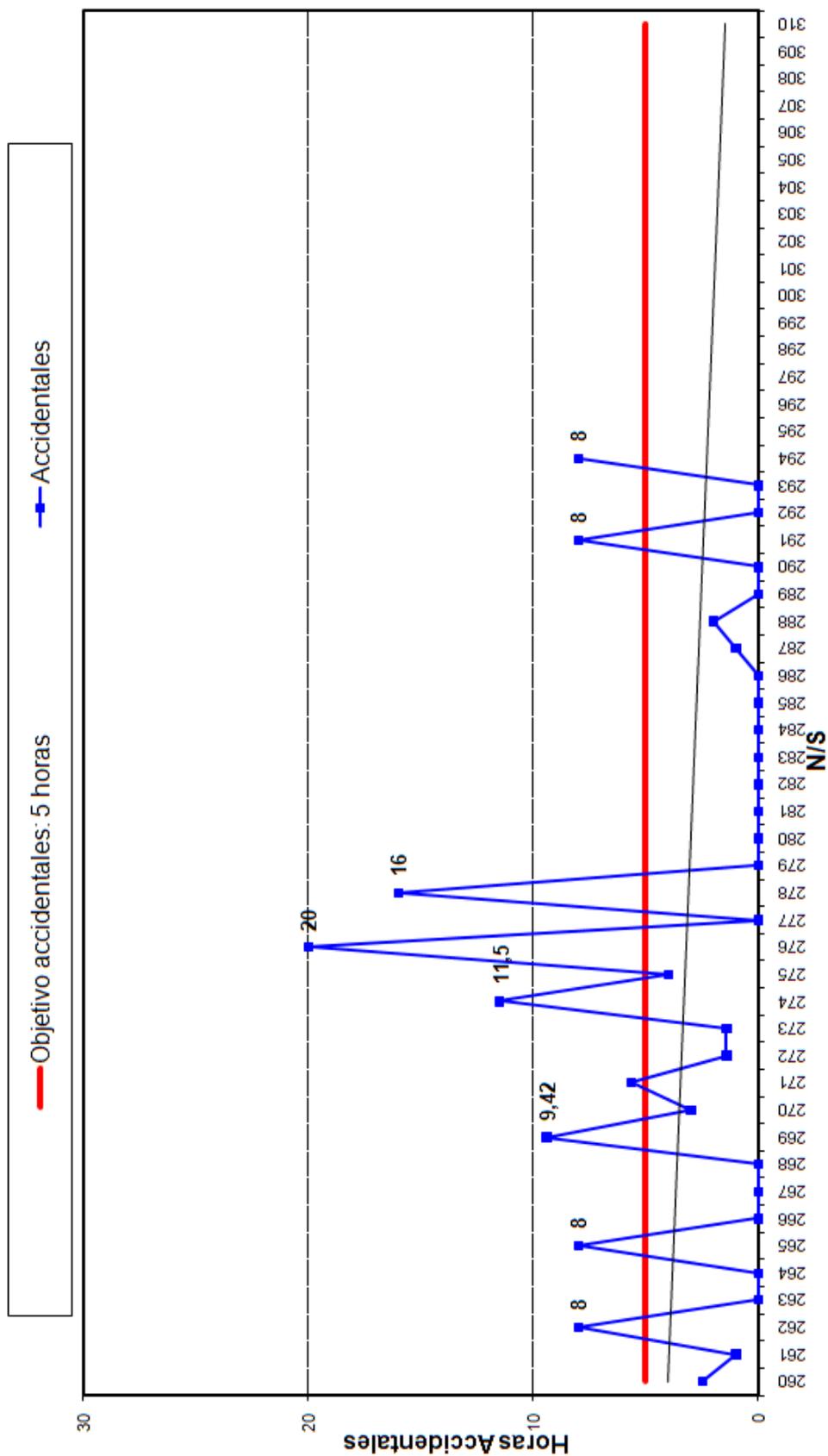


Fig. 190. Horas accidentales capó izquierdo A340

PLANIFICACION PWP A400M AVIÓN 3																
GRUPO	PIN ELEMENTO	LEAD TIME LAY UP	MOTOR 13: NECESIDAD 07/07/07					MOTOR 14: NECESIDAD 14/06/07								
			INICIO LAMINADO	FIN LAMINADO	CURADO	DESHOLDEO RECANTEO	INSPECCIÓN	PINTURA	INICIO LAMINADO	FIN LAMINADO	AUTOCLAVE	DESHOLDEO RECANTEO	INSPECCIÓN	PINTURA		
INLET RAM AIR DUCT ASSY	M361A4254000	1,9	03/07/2007 7:00	04/07/2007 13:00							13-7-07 7:00	16-7-07 13:00				
	M361A4220000															
	M361A4221000															
	M361A4241000															
	M361A4242000															
	M361A4243000															
	M361A4244000															
	M361A4245000															
M361A4246000																
RAM AIR INTAKE	M361A4270000	1,1	04/07/2007 13:00	05/07/2007 15:00							16-7-07 13:00	17-7-07 15:00				
	M361A4204000															
	M361A4230000															
	M361A4231000															
	M361A4281000															
	M361A4282000															
IPS	M361A4207000	1	06/07/2007 7:00	06/07/2007 15:00							18-7-07 7:00	18-7-07 15:00				
	M361A4210000															
	M710A4216000															
ENGINE ACOC FLAP	M710A4202000	2,2	09/07/2007 7:00	11/07/2007 10:00							19-7-07 7:00	23-7-07 10:00				
	M721A4239000															
	M721A4241000															
	M721A4242000															
	M721A4243000															
AIR INTAKE VFG ACOC	M721A4243001															
	M721A4244000															
	M752A4211000															
	M752A4213000															

Fig. 191. Planificación PWP



Fig. 2. Equipo personal Máquinas FP

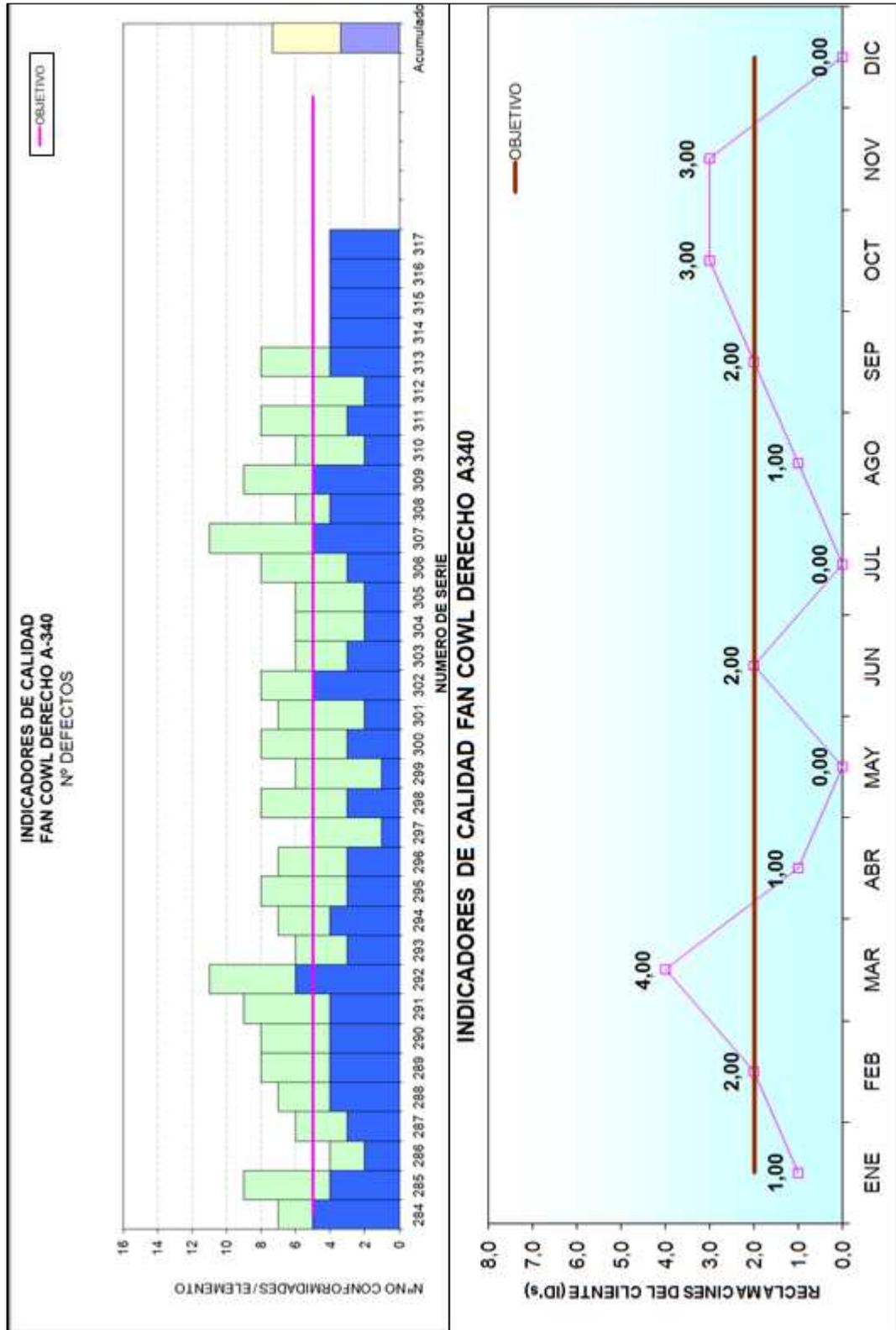


Fig. 193. Indicadores de calidad capó A340

		OCTUBRE																			
		12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
N/S		3 TURNOS										2 TURNOS					3 TURNOS				
MAQUINA N° 1																					
UNECA 1																					
A-380 T-900	68																				
A-380 T-900	68																				
A-380 T-900	69																				
A-380 T-900	69																				
A-380 T-900	70																				
A-380 T-900	70																				
A-380 T-900	71																				
A-380 T-900	71																				
A-380 T-900	72																				
A-380 T-900	72																				
MAQUINA N° 2																					
CONO ACU 3936																					
A340																					
A340																					
A-380 T-900	73																				
A340																					
A-380 T-900	73																				

Fig. 194. Planificación máquinas FP

7.4. ANEXO IV. DATOS DE PARADAS DE MÁQUINAS

7.4.1. Gráficos OEE

A continuación se muestran los gráficos en los que se observan los datos de OEE calculados durante los meses de marzo a septiembre en ambas máquinas de encintado automático.

Se recogen los datos de los 6 meses en una misma grafica de forma que se observa fácilmente la evolución de los mismos.

En ambos gráficos se ve que el dato de OEE (es decir, el tiempo de operación efectivo) aumenta al avanzar en el desarrollo de los proyectos.

Como ya sabemos el OEE es un indicador que mide el avance de las acciones de mejora, por lo que podemos decir que en nuestro caso los esfuerzos están dando resultados positivos.

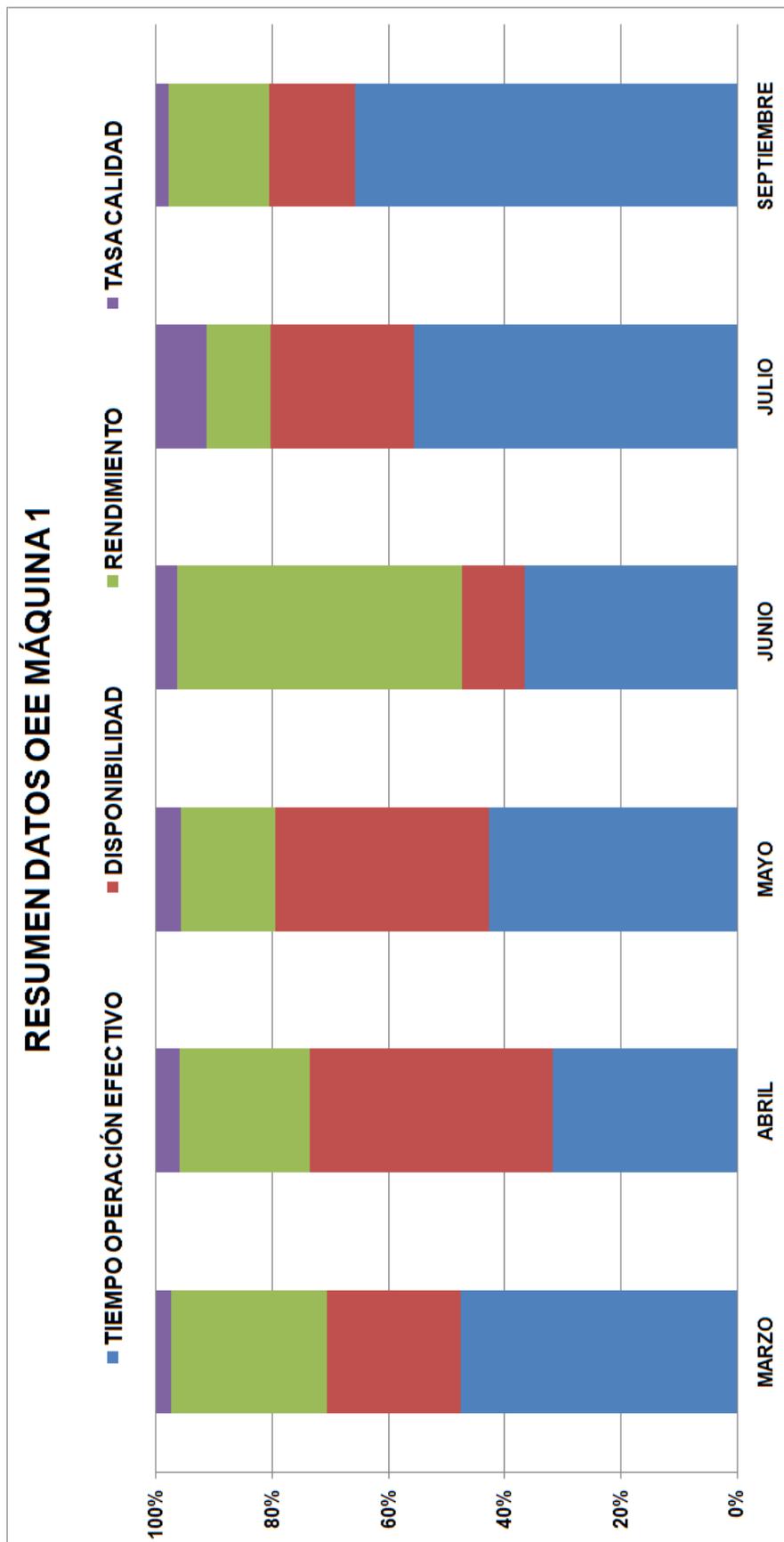


Fig. 395. Gráficos OEE máquina 1 por meses

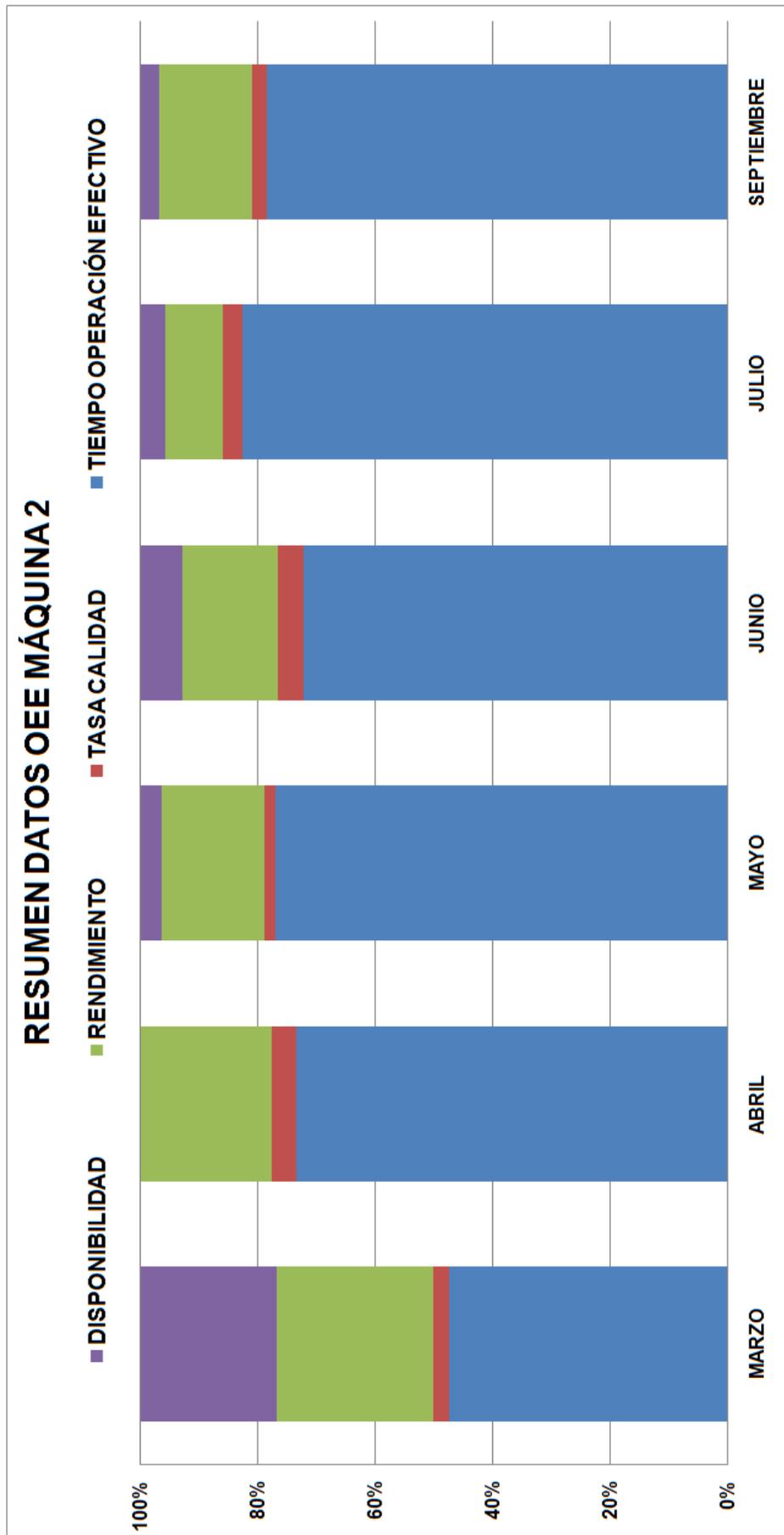


Fig. 496. Gráficos OEE máquina 2 por meses

7.4.2. Diagramas de Pareto

En este apartado se exponen los diagramas de Pareto que se fueron creando con los datos de paradas de máquinas.

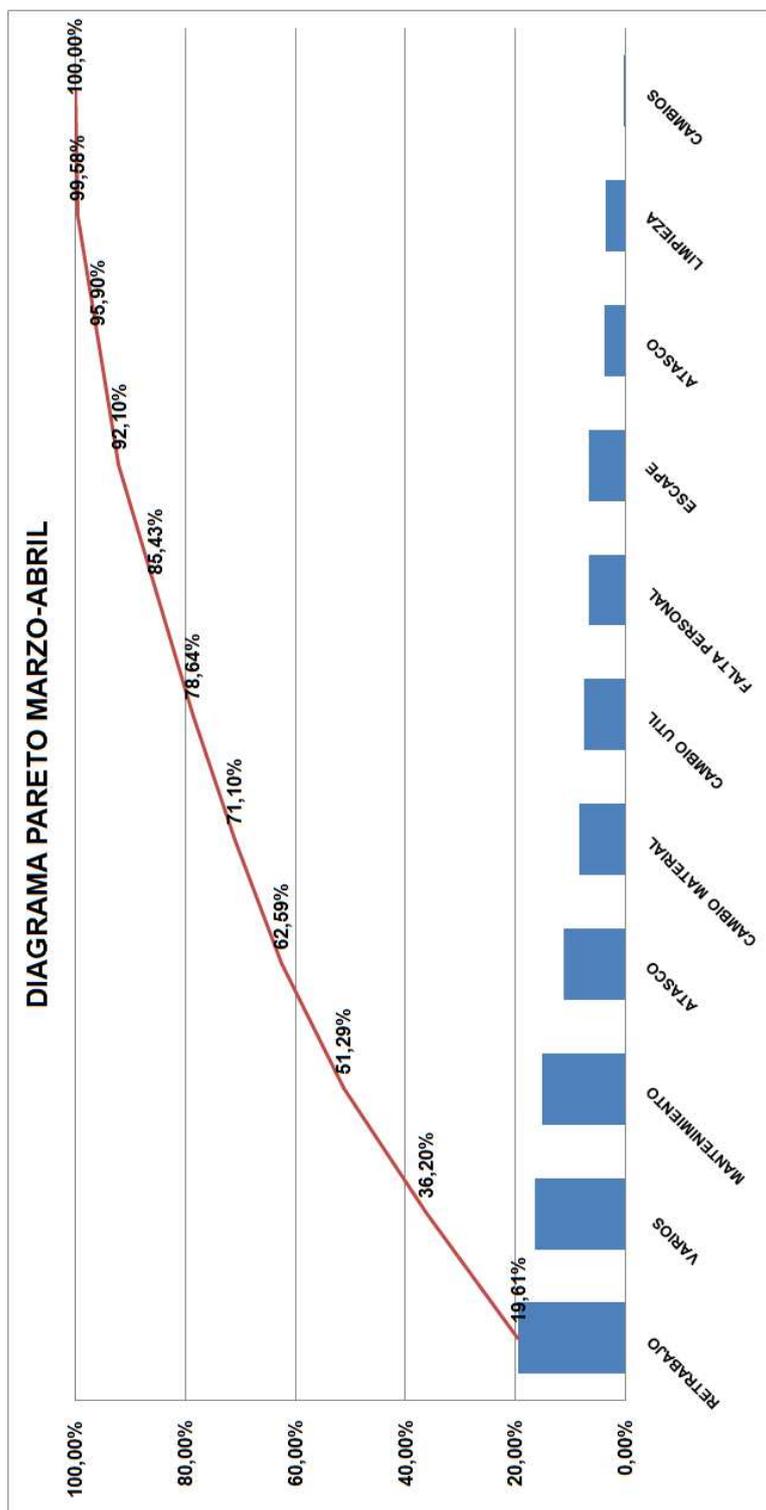


Fig. 597. Diagrama PARETO Marzo-Abril máquinas 1 y 2

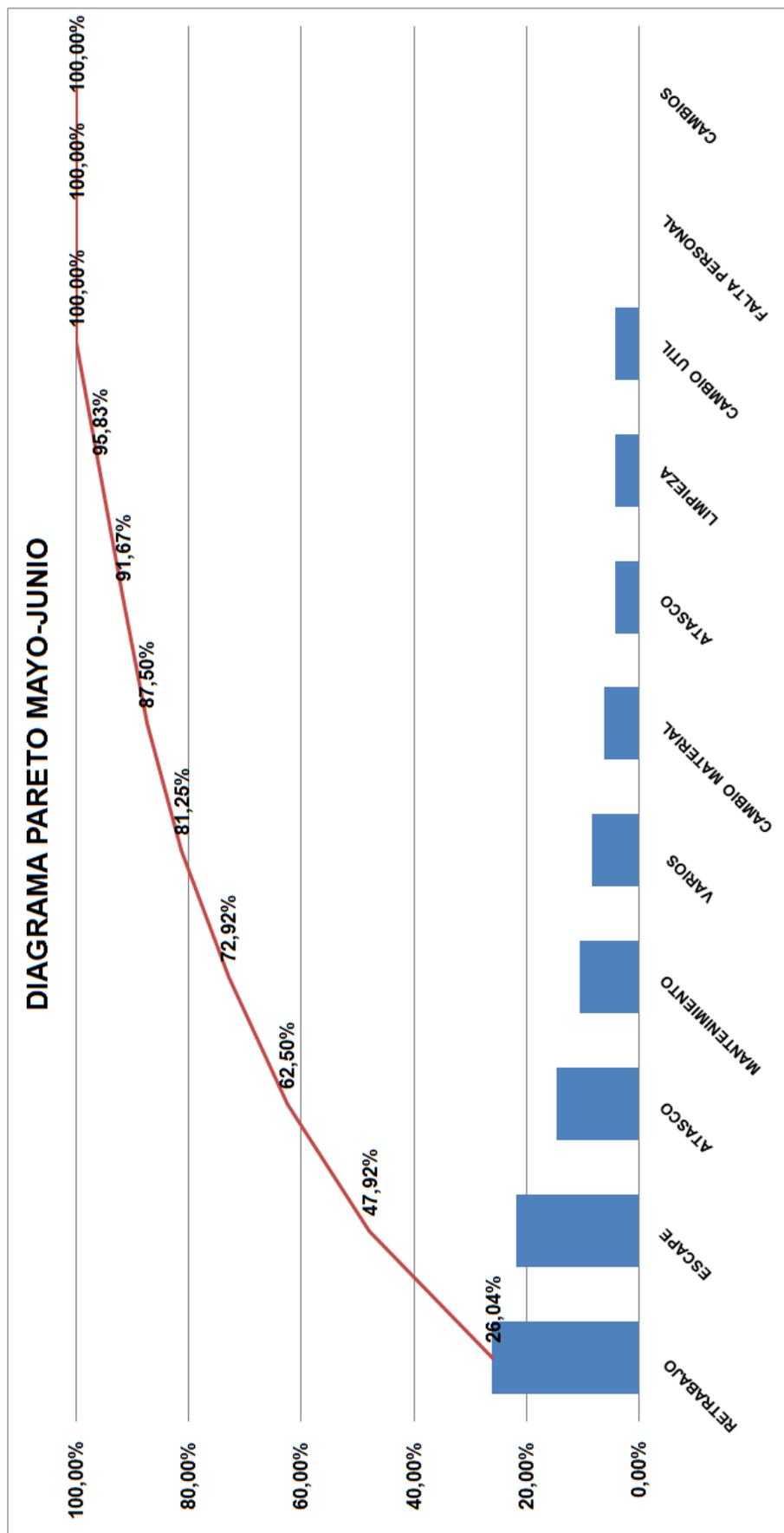


Fig. 698. Diagrama PARETO Mayo-Junio máquinas 1 y 2

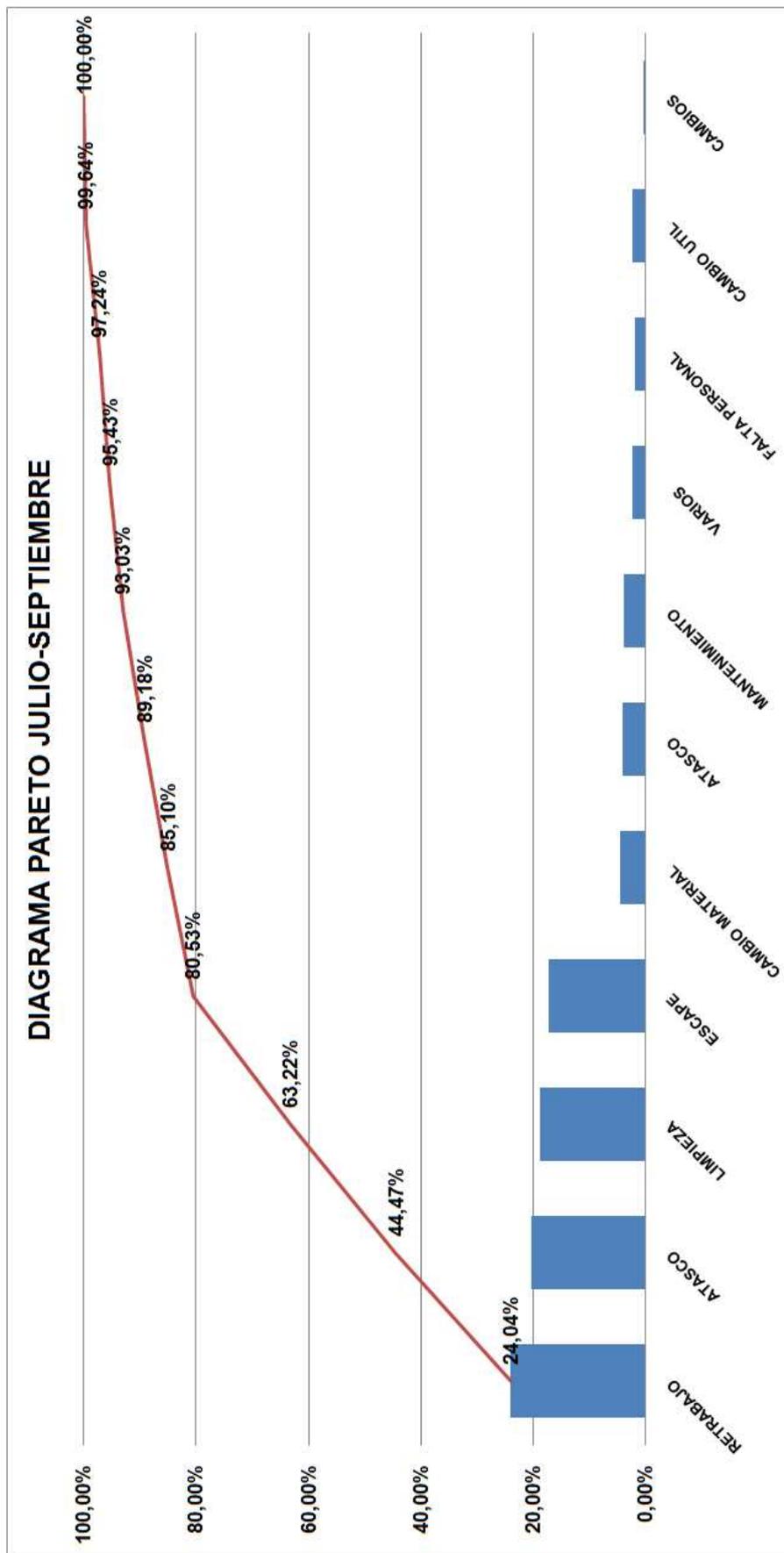


Fig. 799. Diagrama PARETO Julio-Septiembre máquinas 1 y 2

8. PRESUPUESTO

El objetivo del documento es mostrar las inversiones realizadas a lo largo del desarrollo del proyecto de implantación de las herramientas Lean Manufacturing en el área de materiales compuestos, concretamente en la zona de máquinas *Fiber Placement*.

El presupuesto se divide en 3 partidas, cada una de ellas correspondiente a cada uno de los Project Charter desarrollados.

En cada partida se incluye el coste de las reuniones del personal implicado en el proyecto, el coste del consultor externo que ha colaborado en el desarrollo de los Project Charter y las distintas inversiones, si las hay, que han sido necesarias para implantar las mejoras propuestas.

En cuanto a las reuniones hay que decir que en ellas participan todos los trabajadores pertenecientes al equipo Lean, es decir, el responsable de producción, el jefe de taller, el responsable de calidad, un técnico de control de producción, un ingeniero, 3 operarios y un verificador. También participa en todas las reuniones y cursos el consultor externo que colabora con el proyecto.

El coste de hora/hombre es diferente para cada tipo de trabajador, siendo para los operarios, verificadores y el mando de taller de 80 €/H y para el personal de ingeniería y responsables de área de 90 €/H.

8.1. PARTIDA I. Project Charter 1

Esta primera partida incluye los costes de las reuniones realizadas por el equipo Lean, el coste de la formación sobre filosofía Lean que se plantea y el coste de la colaboración del consultor externo.

PARTIDA I. PROYECTO MEJORA CONTINUA						
CONCEPTO		UNIDAD	PRECIO UNITARIO (€/Ud.)	CANTIDAD (Uds.)		PRECIO (€)
REUNIONES EQUIPO LEAN	Operarios y verificadores	Hora	80	3 Reuniones de 6 horas	18	1.440,00 €
	Responsables e ingeniería		90		18	1.620,00 €
CONSULTOR	Colaboración en todas las sesiones	Sesión	900	3 Reuniones y 2 sesiones con responsables	5	4.500,00 €
FORMACIÓN	Cursos programados sobre filosofía Lean	Hora	60	Cursos, uno de 100 horas y otro de 200 horas	300	18.000,00 €
TOTAL PARTIDA I						25.560,00 €

Tabla 20. PARTIDA I del presupuesto general del proyecto.

8.2. PARTIDA II. Project Charter 2

La partida correspondiente al segundo Project Charter (*House-Keeping*) incluye además de las reuniones y la colaboración del consultor experto en Lean todo el material necesario que hubo que comprar para la aplicación de la gestión visual y del método de las 5S's.

PARTIDA II. PROYECTO HOUSE-KEEPING						
CONCEPTO		UNIDAD	PRECIO UNITARIO (€/Ud.)	CANTIDAD (Uds.)		PRECIO (€)
REUNIONES EQUIPO LEAN	Operarios y verificadores	Hora	80,00 €	2 Sesiones de 8 horas y 3 reuniones de 4 horas	28	2.240,00 €
	Responsables e ingeniería		90,00 €		28	2.520,00 €
CONSULTOR	Colaboración en todas las sesiones	Sesión	900,00 €	2 Sesiones de 8 horas, 3 reuniones de 4 horas y 2 sesiones con responsables	7	6.300,00 €
ESTANTERÍA NÚCLEOS		Unidad	508,15 €	2		1.016,30 €
CARROS ALMACENAMIENTO DE PLANTILLAS DE POSICIONAMIENTO		Unidad	471,45 €	3		1.414,35 €
CAJAS ALMACENAMIENTO DE NÚCLEOS		Unidad	43,16 €	5		215,80 €
MATERIALES NECESARIOS PARA LIMPIEZA		-	43,16 €	5		215,80 €
CAJAS ALMACENAMIENTO DE NÚCLEOS		Unidad	43,16 €	5		215,80 €
CINTAS DELIMITACIÓN ZONAS		m	2,50 €	20		50,00 €
ETIQUETAS ROJAS 5S's		m ²	3,15 €	10		31,50 €
ETIQUETAS IDENTIFICACIÓN		m ²	4,90 €	20		98,00 €
ETIQUETADORA		Unidad	75,00 €	1		75,00 €
SILUETEADO DE PANELES DE HERRAMIENTAS		Unidad	29,95 €	5		149,75 €
ESPUMA POLIURETANO PARA CARROS Y CAJAS HERRAMIENTAS		m ²	34,85 €	5		174,25 €
PANEL RESUMEN ENTRADA (L)		Unidad	259,60 €	1		259,60 €
PANELES INFORMATIVOS POR ÁREA		Unidad	198,95 €	5		994,75 €
				TOTAL PARTIDA II		15.970,90 €

Tabla 21. PARTIDA II del presupuesto general del proyecto.

8.3. PARTIDA III. Project Charter 3

La partida de este tercer proyecto incluye además de las sesiones de trabajo del equipo Lean y la colaboración del consultor externo la inversiones necesarias para aplicar las acciones de mejora planteadas para el aumento del rendimiento de las máquinas.

PARTIDA III. PROYECTO MEJORA RENDIMIENTO MÁQUINAS F.P.						
CONCEPTO		UNIDAD	PRECIO UNITARIO (€/Ud.)	CANTIDAD (Uds.)		PRECIO (€)
REUNIONES EQUIPO LEAN	Operarios y verificadores	Hora	80	6 Reuniones de 6 horas	36	2.880,00 €
	Responsables e ingeniería		90		36	3.240,00 €
CONSULTOR	Colaboración del consultor en todas las sesiones	Sesión	900	6 Reuniones y 1 sesión con responsables	7	6.300,00 €
CARRO HERRAMIENTAS PARA CAMBIO DE ÚTIL EN MÁQUINA F.P.		Unidad	654,80 €	1		654,80 €
LLAVE FIJA BOCA ESTRELLA PLANA		Unidad	39,80 €	1		39,80 €
LLAVE DE GANCHO ARTICULADA CON PASADOR		Unidad	31,90 €	1		31,90 €
PALANCA		Unidad	15,90 €	1		15,90 €
VENTANAS PARA ARMARIO REFRIGERADO DE LA MÁQUINA (con montaje)		Unidad	3.000,00 €	1		3.000,00 €
TOTAL PARTIDA III						12.420,00 €

Tabla 22. PARTIDA III del presupuesto general del proyecto.

TOTALES PRESUPUESTO GENERAL	
TOTAL (SIN IVA)	53.950,90 €
TOTAL (CON 16% IVA)	62.583,04 €

Tabla 23. Presupuesto total

El presupuesto general para el proyecto "Aplicación de las herramientas de *Lean Manufacturing* en el área de Fiber Placement de una planta aeronáutica" asciende a la cantidad de **SESENTA Y DOS MIL QUINIENTOS OCHENTA Y TRES EUROS CON CUATRO CÉNTIMOS**.

9. GLOSARIO DE TÉRMINOS

5'S: técnica de gestión japonesa basada en cinco principios simples.

A340: avión civil de pasajeros de Airbus con 4 motores.

A380: avión civil de pasajeros de Airbus, similar al A340, pero de mayor tamaño.

A400M: avión militar de carga de Airbus Military con 4 motores.

Airweaver: tejido respirador de superficie para realización de compactaciones, bolsas de vacío y curado en autoclave.

Andon: herramienta visual para el aviso de fallos en máquinas.

Autoclave: equipo utilizado para el curado de materiales preimpregnados a alta temperatura y presión.

Brainstorming: palabra inglesa que hace referencia a la "Tormenta de ideas".

Cadena de valor: pasos a seguir para crear valor.

Cadencia: productividad o frecuencia de salida de productos terminados de la planta.

Círculo de calidad: pequeño grupo de trabajadores que se reúnen para identificar, analizar y solucionar problemas de su propio trabajo.

Conjunto: agrupación de elementos fabricados que forman el una parte del avión.

Composites: término inglés usado para referirse a los "Materiales Compuestos".

Desperdicio: mal uso de los recursos que da lugar a actividades que no agregan valor.

Departamento: cada una de las partes que forman la organización.

Diagrama causa – efecto: herramienta de Lean Management que resume gráficamente las relaciones entre causas y efectos de un proceso.

Diagrama de Pareto: herramienta de Lean Management que permite clasificar causas de problemas permitiendo priorizar.

Eslinga: cuerda provista de ganchos para elevar grandes pesos.

Estandarización: conjunto de instrucciones y procedimientos establecidos que sirven como pautas para desempeñar las tareas.

Flashbreaker: cinta adhesiva de color azul capaz de resistir altas temperaturas. Se usa en la fabricación de bolsas de curado.

Frekote: producto químico utilizado como agente desmoldeante para facilitar la extracción de las piezas curadas de sus útiles.

FIFO: siglas del término inglés "First In, First Out" que designan un sistema en el que la reposición de los elementos por parte del proceso aguas arriba se realiza cuando el proceso aguas abajo ha retirado parte de los elementos.

HNC: siglas de "Hoja de No Conformidad" que es el documento emitido por calidad cuando un producto no cumple los requisitos establecidos.

Hoja de control de vida: documento asociado a los materiales preimpregnados que permite controlar el tiempo de vida restante en el caso de que se extraigan de la cámara frigorífica.

House-Keeping: expresión inglesa utilizada para designar una herramienta del Lean Manufacturing de gestión de organización, orden y limpieza en el trabajo.

Indicador: Parámetro usado para medir la evolución de un proceso o actividad.

JIT: siglas de "Just in Time" (justo a tiempo), una herramienta del Lean para el control de plazos, inventarios, planificaciones, etc.

Kaizen: herramienta del Lean Manufacturing que busca mejoras en la planta en todos los sentidos, eliminando desperdicios.

Kanban: palabra japonesa que significa "tarjeta" que designa a una herramienta de gestión de la producción.

Layout: distribución en planta.

Lay-Up: operación consistente en colocar las distintas telas de material preimpregnado unas sobre otras y sobre un molde.

Lead time: tiempo que transcurre desde que se inicia la fabricación de un producto hasta que es entregado al cliente.

Libro de Lay-Up: documento realizado por ingeniería de producción en el que se recoge toda la información necesaria para llevar a cabo el apilamiento de telas para fabricar una determinada pieza.

Mapa de procesos: representación gráfica donde se exponen gráficamente los procesos que forman el proceso productivo.

MEK: término que se refiere al producto químico "metil etil cetona", utilizado en la limpieza de útiles.

Muda: palabra japonesa que significa "desperdicio".

MRP: Siglas del término "Materials Requeriment Planning" (Planificación de las necesidades de Materiales) que designa el sistema de planificación de la producción y gestión de stocks.

One piece flow (OPF): Término inglés que designa flujo continuo de fabricación de productos uno a uno, pasando cada uno al proceso siguiente sin interrupciones.

Orden de producción: documento donde se indican las operaciones a realizar para fabricar una determinada pieza.

Part Number (P/N): término utilizado en aeronáutica para identificar a una pieza con unas características determinadas. Dos piezas con el mismo P/N son exactamente iguales.

Plan de mejora: Fase a desarrollar dentro del proceso de mejora continua que es la base para detectar las mejoras, controlarlas y hacerles el seguimiento.

Proceso: Conjunto de actividades relacionadas ente si de forma que transforman elementos de entrada en productos finales

Poka-Yoke: herramienta basada en eliminar o al menos reducir la posibilidad de fallo humano en los procesos.

Preimpregnado (prepreg): término que hace referencia a los materiales compuestos en los que la fibra ya viene preimpregnada de resina.

Recanteo: operación de recorte de las piezas fabricadas en materiales compuestos.

Reproceso: Proceso que consiste en hacer trabajos sobre una pieza que no cumple los requisitos de calidad.

SMED: siglas del término inglés "*Single Minute Exchange of Die*". Es una herramienta que busca agilizar la preparación de máquinas y los cambios de útiles.).

Stock: inventario, provisión, existencia de cualquier bien, productos, etc.

TPM: siglas del término inglés "*Total Productive Maintenance*" que designa el "Mantenimiento Productivo Total", herramienta de Lean de gestión del mantenimiento implicando a todo el personal.

Útil: Pieza metálica sobre la cual se colocan los elementos fabricados en materiales compuestos para darles forma o para proceder a su montaje, curado, etc.

Valor: es aquello por lo que los clientes están dispuestos a pagar.

VSM: Siglas de "*Value Stream Map*", herramienta básica de Lean que se basa en analizar la cadena de valor de un proceso.

KPI: Siglas del término inglés "*Key Performance Indicator*" que designa la medición de un factor crítico en el desarrollo de una actividad.

10. BIBLIOGRAFÍA

10.1. LIBROS CONSULTADOS

- William D. Callister Jr., *"Introducción a la ciencia e ingeniería de los Materiales, vol. 2"*. Editorial Reverté. Barcelona. 1995.
- Derek Hull, *"Materiales compuestos"*. Editorial Reverté. Barcelona. 2003.
- Womack, J.P. (2004). *"Lean Thinking: cómo utilizar el pensamiento Lean para eliminar los despilfarros y crear valor en la empresa"*. Editorial Gestión 2000. Barcelona. 2004
- Cuatrecasas, L. *"Claves de Lean Management: un enfoque para la alta competitividad en un mundo globalizado"*. Editorial Gestión 2000. Barcelona. 2006.
- Seiichi Nakajima. *"Introducción al TPM"*. Editorial Productivity Press. Massachusets. 1993.

10.2. WEBS CONSULTADAS

- *"www.institutolean.org"*. Instituto Lean Management.
- *"www.eads.com"*. Portal de la Empresa EADS-CASA.
- *"www.sisteplant.com"*. Portal de la Empresa Sisteplant.

10.3. OTRAS CONSULTAS

Se ha consultado documentación de diversos departamentos de la factoría del Puerto de Santa María de EADS-CASA, además de documentación facilitada por el consultor externo que desarrolló la implantación de la metodología Lean Manufacturing.

