



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

**Departamento de Energía y Propulsión
Marina**

Programa de doctorado en Ingeniería Marítima

TESIS DOCTORAL

**INVESTIGACIÓN Y ANÁLISIS DE PROCESOS DE
FABRICACIÓN Y ENSAMBLAJE EN ASTILLEROS
DEDICADOS A LA CONSTRUCCIÓN DE BUQUES
TECNOLÓGICAMENTE COMPLEJOS MEDIANTE LA
APLICACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE FABRICACIÓN
LEAN.**

Tesis de doctorado UDC / 2015

Autor: Ángel Fernández Rodríguez

A Coruña, septiembre 2015



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

**Departamento de Energía y Propulsión
Marina**

Programa de doctorado en Ingeniería Marítima

TESIS DOCTORAL

**INVESTIGACIÓN Y ANÁLISIS DE PROCESOS DE
FABRICACIÓN Y ENSAMBLAJE EN ASTILLEROS
DEDICADOS A LA CONSTRUCCIÓN DE BUQUES
TECNOLÓGICAMENTE COMPLEJOS MEDIANTE LA
APLICACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE FABRICACIÓN
LEAN.**

El Doctorando:

El Director:

Ángel Fernández Rodríguez

Álvaro Baaliña Ínsua

A Coruña, septiembre 2015

A mamá y a Ser

RESUMEN

La gran crisis económica mundial que se ha vivido en estos últimos años ha hecho imprescindible que empresas punteras en sectores tan dispares y competitivos como la automoción, aeronáutica, informática, etc. hayan tenido que reinventarse buscando una mayor competitividad, usando para ello como palancas de cambio tanto la mejora en la gestión como un nuevo modelo de fabricación. Estos valores son los que aporta *lean*, metodología evolucionada del Sistema de Producción de Toyota (TPS).

Esta tesis se centra en la aplicación de la metodología *lean* a la construcción de buques no estándar con naturaleza de prototipo, lo cual no ha sido planteado hasta la fecha a nivel de la unión europea ni fuera de ella. Para ello se han analizado con detalle los procesos de fabricación de un astillero dedicado a la construcción de buques tecnológicamente complejos, desde dos perspectivas diferentes:

- La tradicional, en la que el buque se construye con procesos que apenas han cambiado en los últimos 30 años, y
- Utilizando la metodología *lean*, mediante la aplicación de diferentes técnicas y herramientas de este modelo de gestión y observando su repercusión en el proceso productivo

Del análisis comparativo de los resultados obtenidos se deduce que aplicando metodologías *lean* pueden lograrse mejoras sorprendentes en las métricas de los procesos, en ocasiones superiores al 40% y que difícilmente eran predecibles antes de empezar esta investigación.

RESUMO

A gran crise económica mundial que se viviu nestes últimos anos fixo imprescindible que empresas punteiras en sectores tan dispares e competitivos como a automoción, aeronáutica, informática, etc. tivesen que reinventarse buscando unha maior competitividade, usando para iso como pancas de cambio tanto a mellora na xestión un novo modelo de fabricación. Estes valores son os que achega *lean*, metodoloxía evolucionada do Sistema de Producción de Toyota (TPS).

Esta tese céntrase na aplicación da metodoloxía *lean* á construción de buques non estándar con natureza de prototipo, o cal non foi exposto ata a data a nivel da unión europea nin fóra dela. Para iso analizáronse con detalle os procesos de fabricación dun estaleiro dedicado á construción de buques tecnoloxicamente complexos, desde dúas perspectivas diferentes:

- A tradicional, na que o buque se constrúe con procesos que apenas cambiaron nos últimos 30 anos, e
- Utilizando a metodoloxía *lean*, mediante a aplicación de diferentes técnicas e ferramentas deste modelo de xestión e observando a súa repercusión no proceso produtivo

Da análise comparativa dos resultados obtidos dedúcese que aplicando metodoloxías *lean* pódense lograr melloras sorprendentes nas métricas dos procesos, en ocasións superiores ao 40% e que dificilmente eran predicibles antes de empezar esta investigación.

ABSTRACT

The economic world crisis of the last years has made necessary that leading companies in the automotive sector, aeronautics, computers, etc., had to reinvent themselves, making improvements in management, and proposing new fabrication models which are used as levers for change, seeking increased competitiveness. Such values are those provided by *lean*, an evolved Production System methodology proposed by Toyota (TPS).

This thesis is based on the application of the *lean* methodology to non-standard ships with a prototype nature, and has not been proposed so far within the European Union or outside. To this purpose, key building processes have been analysed in detail from two perspectives, considering as a basis a shipyard devoted to high technology vessels:

- Traditional, in which the ship is built following processes which have changed only slightly in the last 30 years, and
- Utilising *lean* methodologies, through the application of the tools and various techniques provided by this model, analysing the impact caused to the production process.

From the analysis of the results obtained, it can be derived that applying *lean* methodologies, can provide rather surprising improvements to key process metrics, sometimes exceeding 40%, which were difficult to predict before starting this investigation

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1.- MARCO DE LA INVESTIGACIÓN	13
1.1.- INTRODUCCIÓN.....	15
1.2.- OBJETIVOS.....	17
1.3.- METODOLOGÍA	18
1.3.1.- Introducción.....	18
1.3.2.- Metodología utilizada	18
1.3.3.- Tiempo de valor añadido y desperdiciado.....	19
1.3.4.- Flujo y Takt.....	25
1.3.5.- Pull	33
1.3.6.- Cero defectos.....	34
1.3.7.- Seguimiento a través de indicadores clave.....	35
1.3.8.- Go to Gemba.....	36
1.3.9.- Kaizen.....	38
1.3.10.- Herramientas y técnicas empleadas.....	39
1.4.- PLAN DE TRABAJO.....	45
1.5.- ÍNDICE GENERAL Y ORGANIZACIÓN DE LA TESIS	45
TEMA 2.- ESTADO DEL ARTE	47
2.1.- INTRODUCCIÓN.....	49
2.2.- BREVE DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE UN BUQUE	49
2.2.1.- Introducción.....	49
2.2.2.- Proceso general de construcción.....	50
2.3.- EVOLUCIÓN TECNOLÓGICA EN LA CONSTRUCCIÓN NAVAL	52
2.3.1.- Evolución de las técnicas y sistemas de construcción en los astilleros	55
2.3.2.- El problema de la fabricación en serie de los buques	61
2.3.3.- Innovación en los modelos de gestión.....	67
2.4.- EVOLUCIÓN DE LAS TÉCNICAS Y SISTEMAS DE CONSTRUCCIÓN NAVAL EN ESPAÑA	72
2.4.1.- Introducción.....	72
2.4.2.- La modernización organizativa de los astilleros en España.....	78
2.5.- EVOLUCIÓN EN LOS SISTEMAS DE CONSTRUCCIÓN Y DISEÑO DE LA PRODUCCIÓN	80
2.5.1.- El esfuerzo tecnológico de los astilleros españoles	81
2.5.2.- La evolución tecnológica de los astilleros españoles después de la reconversión naval.....	84

2.5.3.- El Plan Integral de Mejoras Tecnológicas en Astilleros Españoles	86
2.5.4.- Hacia una nueva cultura de gestión en Astilleros Españoles.....	90
2.6.- LEAN MANUFACTURING EN ESPAÑA.....	92
2.6.1.- Lean manufacturing en la construcción naval española.....	96
2.6.2.- La colaboración tecnológica con compañías japonesas	98
2.6.3.- La actividad de los técnicos de Kobe en Puerto Real.....	100
2.6.4.- La actividad de los técnicos de Maritech en Sestao	104
2.7.- PROCESO GENERAL DE CONSTRUCCIÓN DE UN BUQUE	106
2.7.1.- Introducción.....	106
2.7.2.- Proceso general de construcción de un buque	107
CAPÍTULO 3.- CASO PRÁCTICO DE IMPLANTACIÓN DE LA METODOLOGÍA LEAN	125
3.1.- INTRODUCCIÓN.....	127
3.2.- PASOS DE LA INVESTIGACIÓN	128
3.3.- PREPARACIÓN	129
3.3.1.- Selección de la empresa de consultoría	132
3.3.2.- Selección del equipo de implantación	134
3.4.- ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN INICIAL	136
3.4.1.- Formación inicial.....	137
3.4.2.- Lanzamiento de iniciativas.....	138
3.4.3.- Equipos de trabajo	138
3.5.- DESARROLLO DEL MODELO DE TRABAJO	139
3.5.1.- Fabricación estructural del buque	141
3.5.1.2- Análisis del flujo de valor	142
3.5.1.3- Modelo de sistema productivo	146
3.5.1.4- Funciones que soportan el modelo: Ingeniería de Producción	147
3.5.1.5- Funciones que soportan el modelo: Diseño de Detalle	148
3.5.1.6- Funciones que soportan el modelo: Gestión de la Producción	150
3.5.1.7- Funciones que soportan el modelo: Aprovisionamiento.....	152
3.5.2- Prearmamento	153
3.5.2.1- Visión general del proceso.....	153
3.5.2.2- Análisis del flujo de valor	154
3.5.2.3- Modelo de Sistema Productivo.....	156
3.5.2.4- Funciones que soportan el modelo: Ingeniería de Producción	158

3.5.2.5- Funciones que soportan el modelo: Diseño de Detalle	159
3.5.2.6- Funciones que soportan el modelo: Gestión de la Producción	160
3.5.2.7- Funciones que soportan el modelo: Aprovisionamiento.....	160
3.6.- IMPLANTACIÓN DEL MODELO EN PRODUCCIÓN	161
3.6.1.- Implicación del personal	161
3.6.2.- Fabricación de la estructura	162
3.7.- ELABORACIÓN Y MONTAJE DE PREARMAMENTO	167
3.8.- SEGUIMIENTO	169
3.8.1.- Reuniones de seguimiento	169
3.8.2.- Indicadores.....	170
CAPÍTULO IV.- ANÁLISIS DE RESULTADOS	173
4.1.- INTRODUCCIÓN.....	175
4.2.- OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS	177
4.2.1.- Taller de Elaboración y previas	177
4.2.1.1- Metodología 5S.....	177
4.2.1.2- Mantenimiento autónomo	185
4.2.1.3- Taller KAIZEN.....	190
4.2.2.- Taller de Tuberías y módulos	201
4.2.2.1- Metodología 5S.....	201
4.2.2.2- Mantenimiento autónomo	204
4.2.2.3- Taller KAIZEN.....	208
4.3.1.- Taller de Habilitación	229
4.3.1.1- Metodología 5S.....	229
4.3.1.2- Mantenimiento autónomo	232
4.3.1.3- Taller KAIZEN.....	234
4.3.- ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	244
CAPÍTULO V.- CONCLUSIONES.....	251
5.1.- CONCLUSIONES.....	252
5.2.- LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN FUTURAS.....	257
CAPÍTULO VI.- REFERENCIAS	258
6.1.- REFERENCIAS.....	259

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Metodología de la investigación (Fuente: Academia Lean Navantia)	19
Ilustración 2. Fuente: Ruíz de Arbulo, P. (2007). La gestión de costes en Lean Manufacturing	21
Ilustración 3. Fuente: Academia Lean Navantia	22
Ilustración 4. Fuente: Academia Lean Navantia	22
Ilustración 5. Fuente: Academia Lean Navantia	23
Ilustración 6. Ejemplo teórico de un VSM en un taller. (Fuente: Academia Lean Navantia)	24
Ilustración 7. Ejemplo teórico de un VSM en un taller tubería. (Fuente: Academia Lean Navantia) ...	24
Ilustración 8. Elementos repetibles y singulares. (Fuente: Academia Lean Navantia)	26
Ilustración 9. Selección elementos repetibles y singulares. (Fuente: Academia Lean Navantia)	27
Ilustración 10. Tipologías de elementos repetibles y singulares. (Fuente: Academia Lean Navantia) .	27
Ilustración 11. Identificación elementos de construcción. (Fuente: Academia Lean Navantia)	28
Ilustración 12. Definición elementos de repetición. (Fuente: Academia Lean Navantia)	29
Ilustración 13. Definición de áreas. (Fuente: Academia Lean Navantia)	29
Ilustración 14. Secuencia de actividades. (Fuente: Academia Lean Navantia)	30
Ilustración 15. Secuencia tradicional de actividades. (Fuente: Academia Lean Navantia)	30
Ilustración 16. Secuencia de actividades Lean. (Fuente: Academia Lean Navantia)	31
Ilustración 17. Comparación de secuencias de actividades Lean. (Fuente: Academia Lean Navantia) 31	
Ilustración 18. Ejemplo Secuencia de actividades Lean. (Fuente: Academia Lean Navantia)	32
Ilustración 19. Fuente: Academia Lean Navantia	33
Ilustración 20. KPIs. (Fuente: Academia Lean Navantia)	36
Ilustración 21. Go to Gemba. (Fuente: Academia Lean Navantia)	38
Ilustración 22. Go to Gemba. (Fuente: Academia Lean Navantia)	38
Ilustración 23. Academia Lean. (Fuente: Academia Lean Navantia)	39
Ilustración 24. Fuente: http://matdl.org/failurecases/Other_Failure_Cases/liberty_ships	63
Ilustración 25. Fuente: http://www.dioramanet.com/centroeu/uboote/19.htm	63
Ilustración 26. Fuente: http://www.u-historia.com/uhistoria/historia/articulos/liberty/liberty.htm	64
Ilustración 27. Simulación práctica de la construcción de un buque aplicando la metodología Lean, desarrollado por la Academia Lean de Navantia.	138
Ilustración 28. Pilares de una organización Lean (Fuente: Academia Lean Navantia)	175
Ilustración 29. Ciclo PDCA	176
Ilustración 30. Etapas para implantar 5S. (Fuente: Academia Lean Navantia)	178
Ilustración 31. Etapas para implantar 5S. (Fuente: Academia Lean Navantia)	179
Ilustración 32. Ejemplo antes-después en el taller. (Fuente: Academia Lean Navantia)	181
Ilustración 33. Ejemplo antes-después en una oficina 5S. (Fuente: Academia Lean Navantia)	182
Ilustración 34. Ejemplo antes-después control visual. (Fuente: Academia Lean Navantia)	182
Ilustración 35. Ejemplo antes-después. (Fuente: Academia Lean Navantia)	183
Ilustración 36. Ejemplo antes-después limpieza. (Fuente: Academia Lean Navantia)	183
Ilustración 37. Ejemplo antes-después organización. (Fuente: Academia Lean Navantia)	184
Ilustración 38. Ejemplo antes-después orden. (Fuente: Academia Lean Navantia)	184
Ilustración 39. Ejemplo antes-después de limpieza. (Fuente: Academia Lean Navantia)	184
Ilustración 40. Ejemplo antes-después de control visual. (Fuente: Academia Lean Navantia)	185
Ilustración 41. Ejemplo elemento crítico máquina de corte por plasma TELEREX	189
Ilustración 42. Ejemplo ficha de máquina robot de corte de perfiles TTS	190
Ilustración 43. Ejemplo diagrama de flujo producto-proceso	193
Ilustración 44. Diagrama de flujo producto-proceso	193
Ilustración 45. Líneas de flujo principales del taller	194
Ilustración 46. Resultados del tiempo de permanencia en el taller	194
Ilustración 47. Resultados del tiempo de permanencia en el taller	195
Ilustración 48. Taller de elaboración (Fuente Academia Lean Navantia)	196
Ilustración 49. Taller de prefabricación (Fuente Academia Lean Navantia)	197
Ilustración 50. Taller de elaboración (Fuente Academia Lean Navantia)	198
Ilustración 51. Ejemplo taller elaboración (Fuente Academia Lean Navantia)	198
Ilustración 52. Disposición taller de elaboración (Fuente Academia Lean Navantia)	199
Ilustración 53. Tiempo de permanencia de los productos en el taller	199
Ilustración 54. Reducción de tiempo obtenida en %	200
Ilustración 55. Disposición el planta taller de elaboración (Fuente Academia Lean Navantia)	200

Ilustración 56. Área de figurado de chapas (Fuente Academia Lean Navantia)	200
Ilustración 57. Área de paneles curvos	201
Ilustración 58. Panel 5S utilizado durante toda la implantación. (Fuente: Academia Lean Navantia).....	202
Ilustración 59. Ejemplo antes- después de organización. (Fuente: Academia Lean Navantia).....	202
Ilustración 60. Ejemplo antes- después de orden. (Fuente: Academia Lean Navantia)	203
Ilustración 61. Ejemplo antes- después de un taller 5S. (Fuente: Academia Lean Navantia).....	204
Ilustración 62. Ejemplo de una de los primeros mantenimientos autónomos realizados	205
Ilustración 63. Ejemplo de elemento crítico realizado por los operadores de la máquina	206
Ilustración 64. Máquina de corte térmico de tubos Müller Opladen	207
Ilustración 65. Ejemplo de croquis del sistema mecánico de una curvadora	207
Ilustración 66. Análisis Diagrama geográfico Producto-Proceso antes	209
Ilustración 67. Análisis del proceso: datos de la situación de partida	210
Ilustración 68. Análisis del proceso: datos de la situación de partida	211
Ilustración 69. Análisis del proceso: datos de la situación de partida	212
Ilustración 70. Área de almacenaje de tubos a la espera de ser transportados para su montaje	212
Ilustración 71. Área de almacenaje de tubos a la espera de ser transportados para su montaje	213
Ilustración 72. Área de almacenaje de tubos a la espera de ser transportados para su montaje	213
Ilustración 73. Área de almacenaje de tubos a la espera de ser transportados para su montaje	214
Ilustración 74. Área de almacenaje de tubos a la espera de ser transportados para su montaje	214
Ilustración 75. Área de almacenaje de tubos disponibles para montaje	215
Ilustración 76. Área de almacenaje de tubos disponibles para montaje	215
Ilustración 77. Área de almacenaje de tubos disponibles para montaje	216
Ilustración 78. Área de almacenaje de tubos disponibles para montaje	216
Ilustración 79. Tubos elaborados clasificados por diámetro	217
Ilustración 80. Indicadores de la situación de partida	217
Ilustración 81. El despilfarro en la empresa.....	218
Ilustración 82. Análisis de causas	219
Ilustración 83. Ejemplo análisis de causas	220
Ilustración 84. Análisis de causas	222
Ilustración 85. Análisis de causas	223
Ilustración 86. Análisis de causas	223
Ilustración 87. Análisis de causas	224
Ilustración 88. Análisis de causas	225
Ilustración 89. Flujo actual del taller	225
Ilustración 90. Disposición en planta actual	225
Ilustración 91. Movimientos propuestos.....	226
Ilustración 92. Nueva disposición en planta	226
Ilustración 93. Nuevo flujo propuesto.....	226
Ilustración 94. Comparativa situación antes y después.....	227
Ilustración 95. % de tiempo reducido	227
Ilustración 96. Tubos en curso	228
Ilustración 97. Evolución del inventario en curso.....	228
Ilustración 98. Ejemplo antes-después de la etapa de organización (1ª S).....	230
Ilustración 99. Ejemplo antes-después de la etapa de orden (2ª S).....	230
Ilustración 100. Ejemplo antes-después de la etapa de orden y control visual (2ª y 4ª S)	230
Ilustración 101. Ejemplo antes-después de la etapa de limpieza (3ª S).....	231
Ilustración 102. Ejemplo del taller durante la última etapa de la implantación de las 5ª S	231
Ilustración 103. Máquina de corte por plasma ESAB Pegasus	233
Ilustración 104. Máquina de corte por plasma Plasma Lovent	233
Ilustración 105. Análisis del proceso: datos de la situación de partida	235
Ilustración 106. Análisis del proceso: datos de la situación de partida	236
Ilustración 107. Análisis del proceso: datos de la situación de partida	237
Ilustración 108. Área de almacenaje de tubos a la espera de ser transportados para su montaje	237
Ilustración 109. Área de almacenaje de tubos a la espera de ser transportados para su montaje	238
Ilustración 110. Área de almacenaje de tubos a la espera de ser transportados para su montaje	238
Ilustración 111. Área de almacenaje de tubos a la espera de ser transportados para su montaje	239
Ilustración 112. Área de almacenaje de tubos disponibles para montaje	239
Ilustración 113. Indicadores de la situación de partida	240
Ilustración 114. Análisis de causas	242

Ilustración 115. Indicadores antes-después.....	243
Ilustración 116. Porcentaje reducción.....	243
Ilustración 117. Porcentaje reducción.....	247
Ilustración 118. Porcentaje reducción.....	248
Ilustración 119. Porcentaje reducción.....	250

CAPÍTULO 1.- MARCO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1.- INTRODUCCIÓN

No cabe duda que cualquier gran crisis económica como la que estamos viviendo en la actualidad trae consigo efectos perniciosos para los países que la padecen, para sus economías y para sus empresas. Sin embargo, es en estos periodos de crisis cuando debe aprovecharse para reflexionar y extraer lecciones aprendidas a partir de los errores detectados, así como para emprender nuevos caminos hacia el futuro. En este sentido, pueden interpretarse también como “ventanas de oportunidades”, y la actual crisis global no es una excepción.

La competitividad y sus posibles causas y efectos han sido ampliamente estudiados y discutidos en la literatura económica internacional desde hace ya muchos años.

Por otra parte el efecto de la innovación como palanca de cambio para mejorar la competitividad de las economías nacionales, es ampliamente reconocido y en este sentido el World Economic Forum (WEF) analiza en su informe anual “The Global Competitiveness Report” la evolución de la innovación en los diferentes países del mundo, evaluando su influencia en la competitividad, por medio de un índice compuesto de competitividad.

http://www3.weforum.org/docs/WEF_GlobalCompetitivenessReport_2014-15.pdf

De la lectura de este extenso informe puede obtenerse, ya en sus primeras páginas, la conclusión de que los países avanzados que durante décadas han apostado por la innovación y que han crecido y se han desarrollado gracias a ella, solo son capaces de mantener sus altos salarios asociados a su nivel de vida (comparados con los países emergentes o menos desarrollados) si sus empresas son capaces de competir con nuevos y más sofisticados productos, servicios o modelos de negocio o bien a través de las nuevas tecnologías y de procesos de producción cada vez más eficientes.

Por tanto esta competitividad empresarial actual, en estos tiempos de crisis, requiere todavía más si cabe, que empresas punteras en sectores tan dispares y

competitivos como la automoción, aeronáutica, informática, construcción, telecomunicaciones, etc. y por supuesto también el sector marítimo y en particular la construcción naval, adopten un sistema de construcción diferente que no solo permita ahorrar en los costes de fabricación sino también que reporte beneficios empresariales a las maltrechas cuentas de resultados de los astilleros.

Uno de los métodos empleados con el que se están alcanzando magníficos resultados en los sectores antes mencionados es el denominado Lean Manufacturing, también conocido en castellano como como Fabricación Lean o Producción Ajustada.

Aunque el producto tradicional de los astilleros, a diferencia de los sectores mencionados anteriormente, tiene la mayoría de las veces características de prototipo, y se distingue claramente de la producción en serie, se plantea en esta tesis la metodología *lean* como un medio no solo viable sino necesario de construcción para revitalizar y volver a hacer competitiva la construcción naval española.

El trabajo planteado en la presente tesis doctoral, pretende adaptar el sistema de fabricación ideado por Toyota para la producción en serie de sus vehículos y conocido como TPS¹ a un astillero, estableciendo y definiendo los principios básicos para el diseño e implantación de un ámbito de actuación que tenga como punto de partida la práctica estándar de construcción de un astillero dedicado a la fabricación de buques tecnológicamente complejos.

A partir de esta práctica estándar se buscarán herramientas y métodos específicos para adaptar esta tecnología de fabricación existente en la actualidad, a una serie de procesos estándar previamente definidos de tal manera que se facilite el flujo de fabricación por el astillero dentro de los tiempos establecidos para dichos procesos.

Para alcanzar los objetivos anteriormente descritos se analizarán, por una parte las herramientas y metodologías utilizados por Toyota en su modelo productivo Toyota Production System (TPS) y por otra los principales procesos de fabricación de un

¹ TPS- acrónimo de Toyota Production System

astillero dedicado a la construcción de buques tecnológicamente complejos, buscando el flujo del valor añadido y la eficiencia del sistema total, es decir, obviando los óptimos locales en beneficio del óptimo global, eliminando para ello sistemáticamente todo “despilfarro” que no genere valor añadido a la construcción de nuestro buque, y por el cual nuestros clientes no están dispuestos a pagar.

1.2.- OBJETIVOS

Los objetivos de la presente investigación se enmarcan dentro del análisis y estudio de los procesos de fabricación en un astillero dedicado a la construcción de buques tecnológicamente complejos y su transformación hacia la mejora continua mediante la aplicación de las técnicas y de la dinámica de gestión *lean*.

Por tanto el primer objetivo de esta investigación consiste en aportar una nueva metodología para introducir mejoras en el ciclo de construcción de un nuevo proyecto, afectando a los plazos, coste y calidad de un nuevo buque, eliminando sistemáticamente operaciones que no generen valor añadido a nuestro producto durante el proceso de construcción.

La forma de implementar este sistema consistirá en rediseñar el modelo productivo de un astillero aplicando las técnicas y herramientas Lean, a través del análisis detallado de los diferentes procesos de fabricación utilizados, para identificar y diferenciar aquellas operaciones que aportan valor al proceso de las que no lo aportan, para así poder eliminar estas últimas a través de un sistema de mejora continua.

No se busca, por tanto, mejorar la eficiencia de las máquinas e instalaciones mediante la utilización de las economías de escala, sino transformar el modelo productivo eliminando todo aquello que no aporte valor al proceso de construcción del buque.

Se pretende además como segundo objetivo, profundizar en este nuevo conocimiento dentro del campo de la ingeniería marítima y la tecnología naval, con el fin de perfeccionar las técnicas actuales de fabricación en los diferentes procesos de construcción naval.

Cuando se inicia la presente investigación en el año 2009 esta metodología era prácticamente desconocida en España en el sector marítimo y naval y prácticamente no existían referencias en Europa de su aplicación en el sector ni en los astilleros como tal, aunque es cierto que 2 años antes empiezan a ser conocidas y aplicadas algunas técnicas de esa metodología de manera aislada como son las 5S, el mantenimiento autónomo o automantenimiento como base para la implantación del TPM y en el astillero de Cartagena. En la actualidad y desde hace apenas 2 años se está dando a conocer en los grandes astilleros, aunque aún está dando sus primeros pasos y queda mucho que evolucionar hasta su consolidación.

El tercer objetivo será comprobar los beneficios de la implantación que justifiquen emprender un proceso de transformación Lean en un astillero, mediante la introducción de estas técnicas y herramientas *lean* en toda la organización. En este objetivo se incluye un estudio de campo realizado en un caso práctico real aplicándose a un buque de nueva construcción por primera vez en España que permitirá validar la metodología productiva aquí propuesta.

1.3.- METODOLOGÍA

1.3.1.- Introducción

La metodología, aunque no es un camino infalible para alcanzar los objetivos antes expuestos, constituye una propuesta racional y lógica para conseguirlo. Aunque existen diversas metodologías y herramientas, la utilización de una u otra dependerá del tipo de escenario en el que se desarrolla la investigación.

En la primera etapa de la tesis se lleva a cabo un estudio del estado del arte, para detectar así los problemas que intentarán ser resueltos en el desarrollo de la tesis. Esta etapa tiene mucho que ver con la etapa de observación del método científico, y por tanto se ha realizado un diagnóstico de la situación real a través del estudio de las técnicas actuales de fabricación donde se comprueba inicialmente si los objetivos de la tesis pueden alcanzarse con las teorías y métodos existentes.

1.3.2.- Metodología utilizada

La metodología utilizada en esta investigación se basa en los principios que guían la filosofía Lean (ver ilustración nº1) y su aplicación a la construcción naval a través del nuevo concepto de elementos repetibles y elementos singulares.

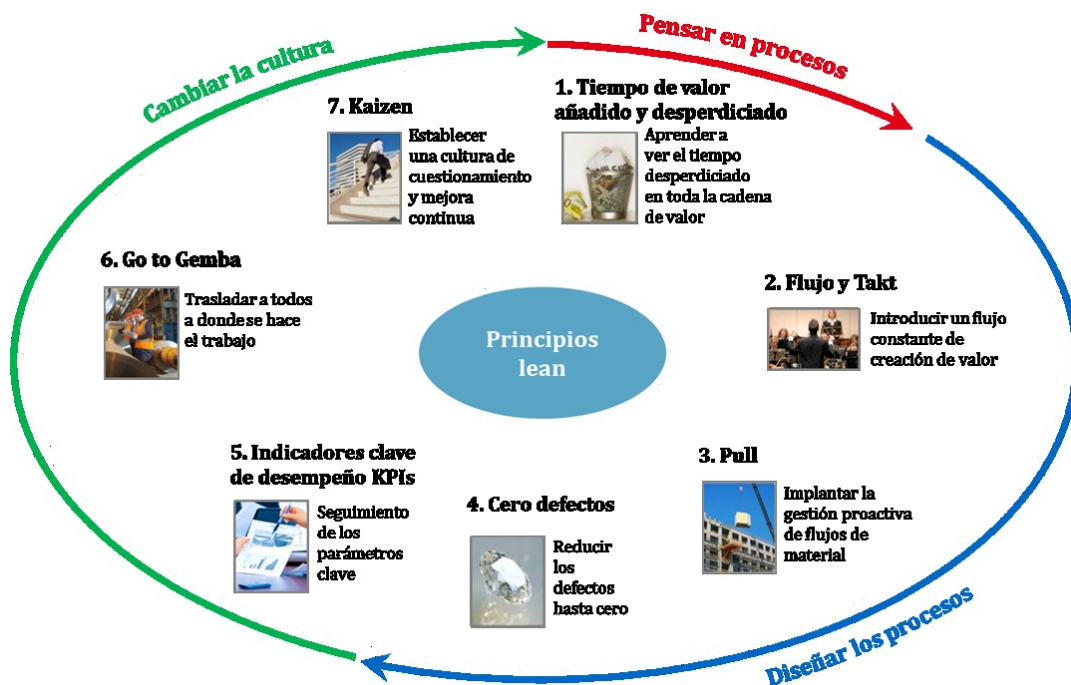


Ilustración 1. Metodología de la investigación (Fuente: Academia Lean Navantia)

1.3.3.- Tiempo de valor añadido y desperdiciado

Tradicionalmente la construcción naval ha sido un sector muy proteccionista, en el que los países en los que estaban asentados los grandes astilleros financiaban de manera directa o indirecta los nuevos contratos a través de ayudas millonarias a la construcción naval, desgravaciones de impuestos a las grandes empresas e inversores, etc. Esta situación que se ha dado en la construcción naval de buques mercantes ha sido llevada a su máximo exponente en la construcción naval militar hasta estas fechas.

En este contexto, en el que la demanda era claramente superior a la oferta, en algunos países los costes de fabricación de los buques tecnológicamente complejos como pueden ser los buques de guerra, no era la principal preocupación, puesto

que para obtener beneficios, bastaba con incrementar el porcentaje “deseado” sobre los costes de transformación de los productos.

La forma de calcular los precios de venta de los productos fabricados se basaba, en términos generales muy sencillos, en aplicar la fórmula siguiente:

$$\text{Precio de venta} = \text{coste} + \text{beneficio deseado} \quad (1)$$

El valor de la variable “beneficio deseado” era impuesto por el astillero constructor por tanto puede decirse que en cierta medida era un parámetro controlable.

Pero esta situación cambió en el momento en que la oferta aumentó, al abrirse los mercados de los países y con ello incrementarse la competencia entre los distintos fabricantes nacionales y extranjeros. Al ampliarse la oferta, los compradores se hicieron más exigentes en cuanto a los requisitos que pedían a los buques que compraban y, además, se preocupaban mucho por comparar los precios existentes entre las distintas alternativas.

Por tanto al producirse esta transformación en el mercado mundial, pues no hay que olvidar que la construcción naval es un mercado global, los precios de venta dejan de ser fijados por los constructores y es el propio mercado, a través de la “ley de la oferta y la demanda”, quien se encarga de establecer los precios de venta de los buques.

Por lo tanto, la ecuación del beneficio se establece ahora del siguiente modo:

$$\text{Beneficio deseado} = \text{precio de venta} - \text{coste} \quad (2)$$

La variable “beneficio deseado” no es ahora un parámetro controlable por el fabricante, sino una variable dependiente de las otras dos.

Aunque matemáticamente esta ecuación (2) es exactamente igual a la (1), su significado es radicalmente distinto. El precio de venta se convierte en una variable que el vendedor no puede controlar, es el mercado quien la fija y, por lo tanto la única variable que realmente queda bajo el control del fabricante es el coste.

Así que, de la reducción de los costes de la construcción depende la competitividad de las empresas de construcción naval y el aumento de sus posibles beneficios.

precio de venta = coste + beneficio deseado

beneficio = precio de venta - coste

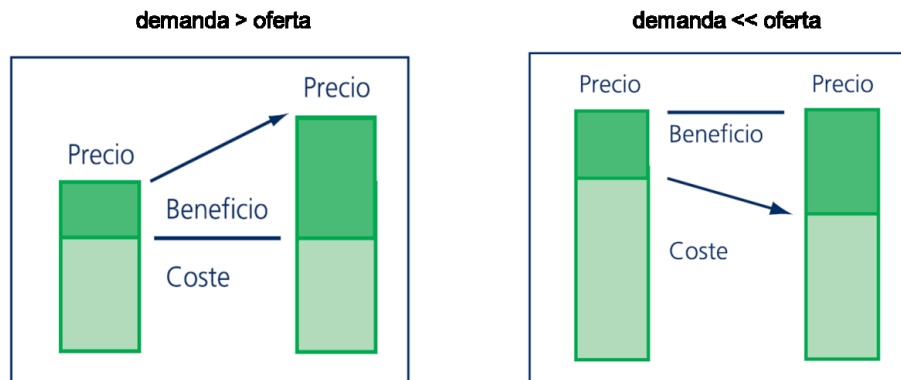


Ilustración 2. Fuente: Ruíz de Arbulo, P. (2007). *La gestión de costes en Lean Manufacturing*

En este contexto y para reducir los costes de fabricación y mejorar sus cuentas de resultados, las empresas de construcción naval necesitan optimizar al máximo sus procesos. Se hace por tanto necesario actuar con metodologías nuevas en la construcción naval para cumplir los compromisos de los programas de construcción.

Y en estas condiciones desde hace unos 10 años a esta parte los principales astilleros del mundo está empezando a usar la metodología Lean para mejorar todos sus procesos, no solo los productivos, y ayudar a conseguir los objetivos y compromisos en términos de calidad, coste y plazo de sus programas de construcción.

Pensar en los procesos nos ayuda a entender con más claridad el tiempo desperdiciado a través de toda la cadena de valor que nos lleva a la construcción del buque. También nos ayuda a entender como nos relacionamos con nuestros clientes internos dentro del astillero y cuáles son nuestras relaciones de cliente-proveedor tanto con los procesos que nos preceden como a los que entregamos nuestros productos internos fabricados.

Desde la perspectiva Lean, en un proceso se diferencian dos tipos de actividades:

- las que crean valor para el cliente o para el producto, y
- las que no lo hacen

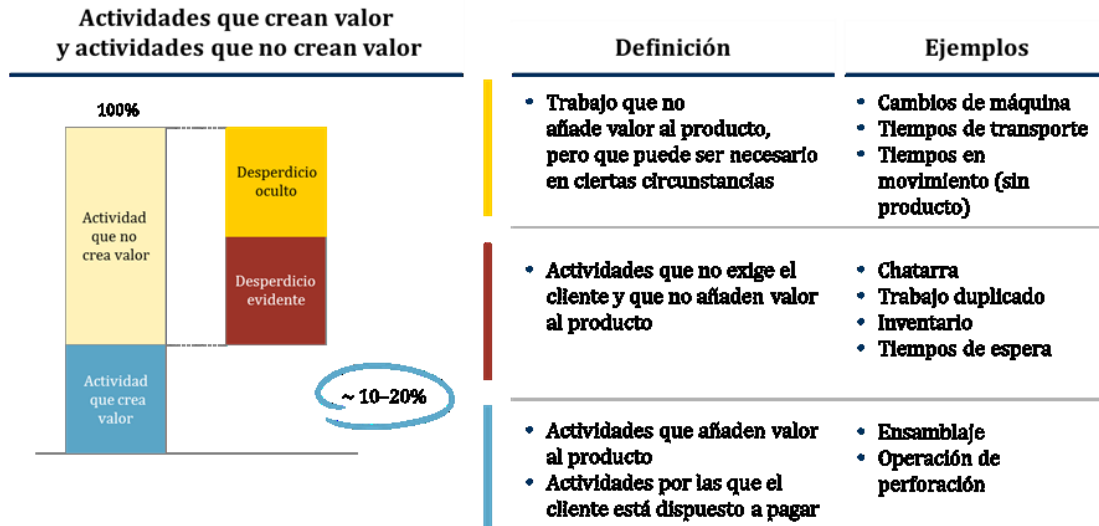


Ilustración 3. Fuente: Academia Lean Navantia

El valor viene determinado por las necesidades del cliente (interno o externo) y por tanto debe ser definido por él.

El objetivo de Lean es aumentar el valor que crean las actividades al eliminar y reducir sistemáticamente las ineficiencias del proceso, realmente de todos y cada uno de los procesos que intervienen en la construcción del buque.

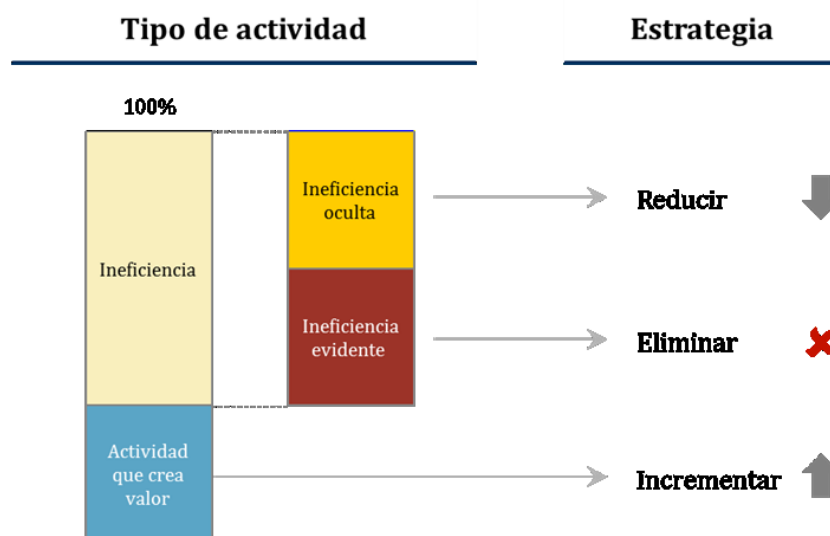


Ilustración 4. Fuente: Academia Lean Navantia

Dicho de otro modo, Lean supone enfocarse en la mejora del valor creado para el cliente (interno y externo) eliminando las ineficiencias del sistema.

Lean es un proceso sistemático para reducir siete tipos de ineficiencias, que son el exceso de procesamiento, exceso de producción, transporte, movimiento, inventario, defectos y tiempos de espera.

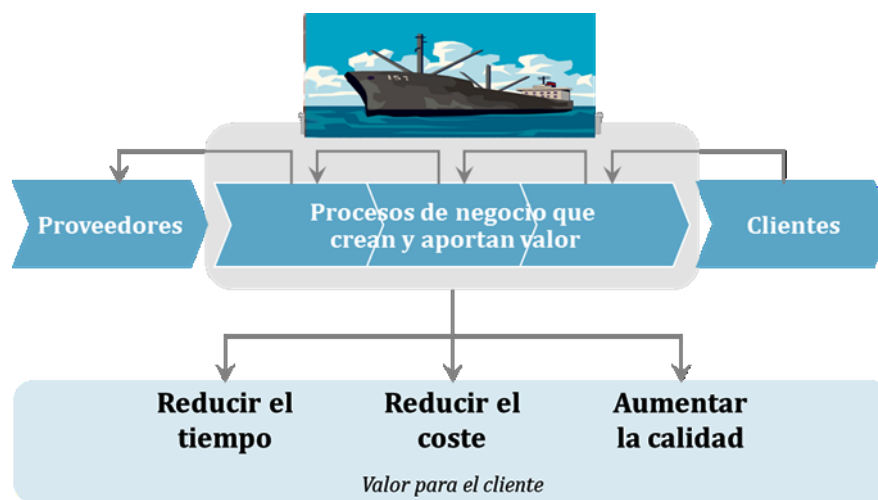


Ilustración 5. Fuente: Academia Lean Navantia

Para conocer la situación real de cómo se están haciendo las cosas se hace un diagnóstico de la situación actual a través del mapa del flujo de valor o Value Stream Map (VSM). El VSM es una herramienta muy utilizada que nos ayuda a analizar el flujo de las actividades que nos conducen a la entrega del buque al cliente desde el inicio del proyecto.

Con esta herramienta analizamos con detalle los procesos en busca de las ineficiencias anteriormente descritas para su eliminación o disminución al máximo posible, para averiguar los tiempos del sistema, etc.

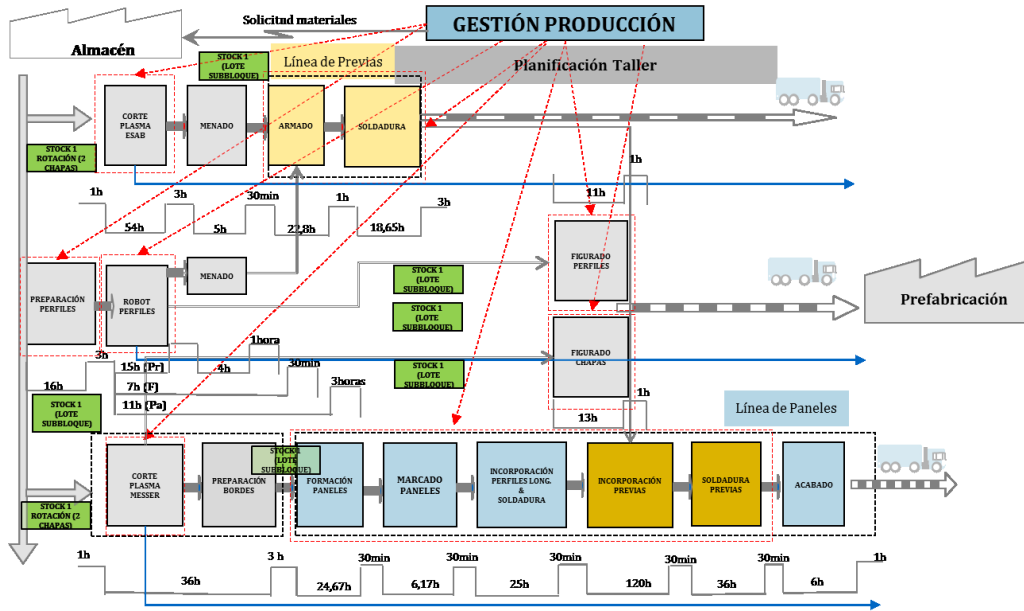


Ilustración 6. Ejemplo teórico de un VSM en un taller. (Fuente: Academia Lean Navantia)

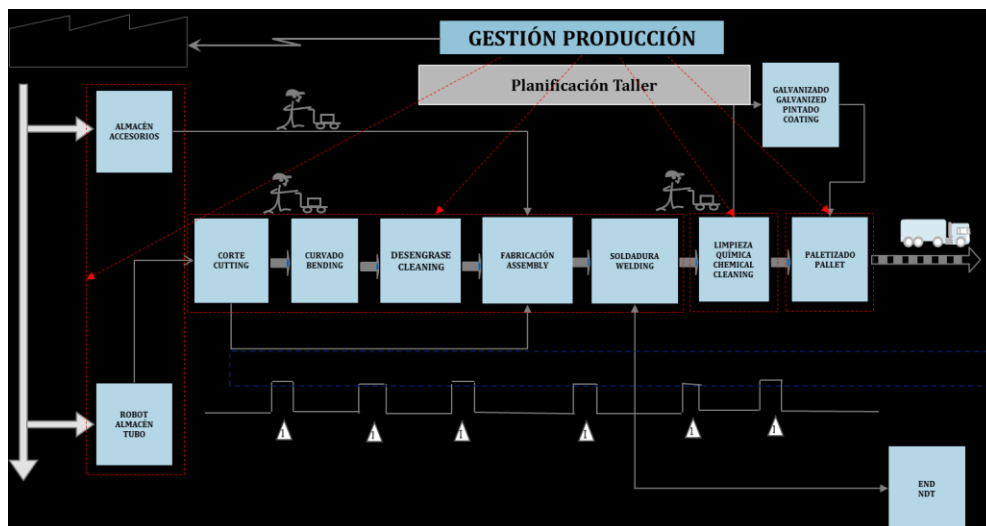


Ilustración 7. Ejemplo teórico de un VSM en un taller tubería. (Fuente: Academia Lean Navantia)

1.3.4.- Flujo y Takt

El flujo se basa en permitir que las piezas avancen de una manera continua e ininterrumpida a lo largo de todo el proceso de construcción del buque. En el sistema de flujos, una pieza circula continuamente sin pasar por el inventario, es decir los procesos de trabajo deben crear un flujo de información y material. En una línea de producción, cada pieza debe "fluir" a lo largo del sistema sin esperas ni almacenamientos.

Tan pronto como aparece un obstáculo en el flujo, salen a la luz problemas que hay que solucionar y toda la organización debe ponerse a ello.

El flujo necesita procesos vinculados y logística de coordinación, para ello se requiere que los procesos están directamente vinculados y coordinados entre sí. Esto es de vital importancia. En un proceso de producción, esto se logra en los lugares de trabajo y con las máquinas adecuadas.

La logística interna y externa debe ser uno de los centros de atención y debe estar optimizada y vinculada con el proceso integral de fabricación.

Para mejorar el flujo de valor de todo el sistema, se ha utilizado el Value Stream Mapping (VSM) como herramienta de análisis y diseño del flujo de valor de los procesos.

El takt time al que se debe producir para estar en sincronía con la demanda del producto es el resultado de dividir el tiempo disponible para producción entre la demanda del cliente en un determinado período de tiempo.

El tiempo takt marca el ritmo de todos los procesos en un sistema de fabricación, es como el director en una orquesta que debe poner en sincronismo a todos los músicos de la orquesta por muy virtuosos que estos sean.

En construcción, la planificación y el seguimiento takt pueden compararse con la actuación de una orquesta en la que el director marca el ritmo takt (planificación Takt). Todos los instrumentos (actividades) tienen que seguir el mismo ritmo takt ya

que sólo si todos los instrumentos tocan al mismo ritmo takt, la música suena como es debido, es decir la construcción avanza en tiempo y forma.

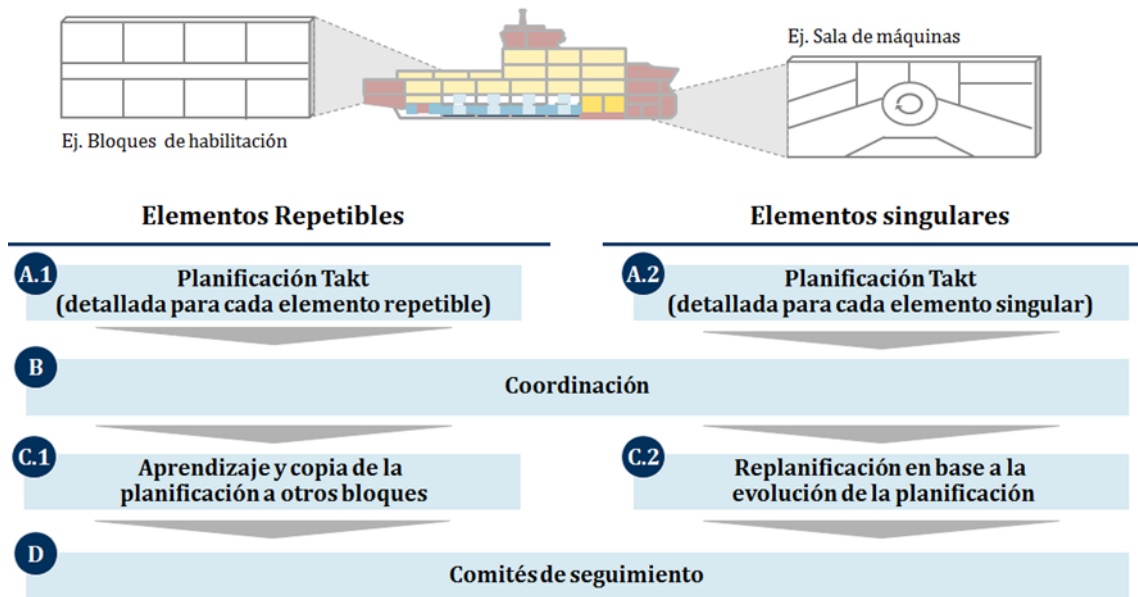


Ilustración 8. Elementos repetibles y singulares. (Fuente: Academia Lean Navantia)

En la construcción de elementos singulares (por ejemplo un edificio un buque) la planificación takt se realiza identificando elementos repetibles y elementos singulares.

Hay que identificar en el buque y clasificar los diferentes elementos repetibles y singulares identificados en función de la estructura, los procesos, la carga de trabajo, etc.

Los elementos repetibles no son necesariamente iguales, es muy difícil encontrar en un buque dos elementos idénticos, por tanto por elemento repetible hay que entender aquellos elementos que se pueden construir usando los mismos procesos productivos.

En el caso que nos ocupa se ha usado la división en 86 bloques para la identificación de elementos repetibles, de tal manera que los elementos repetibles identificados cubren desde el punto de vista de la estructura casi el 70% del barco en toneladas de acero.

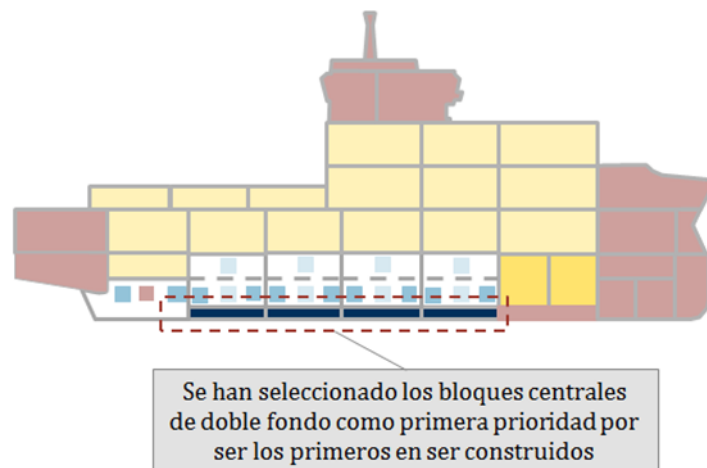


Ilustración 9. Selección elementos repetibles y singulares. (Fuente: Academia Lean Navantia)

Aplicando la tecnología de grupos se han identificado 5 tipologías o familias de bloques repetibles además de los bloques singulares.

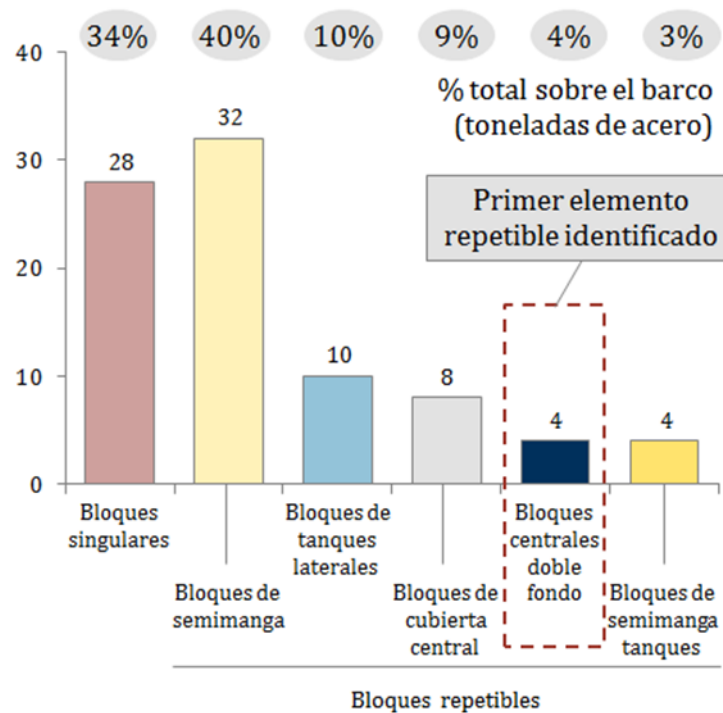


Ilustración 10. Tipologías de elementos repetibles y singulares. (Fuente: Academia Lean Navantia)

Es muy importante tener en cuenta las limitaciones técnicas durante la clasificación y definición de estos bloques y áreas de trabajo.

Se ha desarrollado una metodología clara y precisa para establecer la planificación takt a los elementos repetibles del buque, y esta consta de siete etapas o pasos principales:

1. Identificación de elementos de construcción repetidos

En la construcción en general los elementos repetibles pueden ser las plantas estándar de edificios de oficina y hotel, tramos de carretera y autopistas, etc.

En el caso de un buque tanto los elementos repetibles como los singulares son los bloques de construcción, en lo que se refiere al casco. Podrían ser otros elementos como cabinas de habilitación, cuadros eléctricos, etc. en función del tipo de buque.

Como ya hemos visto en el buque que nos ocupa (buque de apoyo a plataformas petrolíferas) se ha considerado y clasificado los 86 bloques que componen el buque.

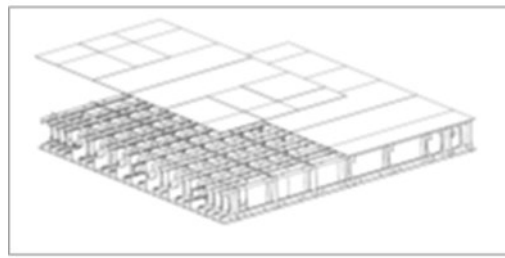


Ilustración 11. Identificación elementos de construcción. (Fuente: Academia Lean Navantia)

2. Definición de los principales elementos de repetición como bloques de la construcción

Los bloques de construcción que se repiten pueden completarse en secuencias (hitos importantes).

Para formar lotes, los bloques de construcción del buque son demasiado grandes para gestionar en ciclos cortos (ej. takt de un turno con su reparto de tareas)



1 bloque = sección de construcción

Ilustración 12. Definición elementos de repetición. (Fuente: Academia Lean Navantia)

3. Definición de áreas con contenido similar, a modo de lotes

Desde el punto de vista organizativo, se introduce el concepto de áreas de fabricación. Estas áreas reducen el esfuerzo de la producción y facilitan el control y seguimiento de las actividades en curso.

El objetivo consiste en definir las áreas con etapas de trabajo diario y cada área debe tener el tamaño suficiente como para que el trabajo de un gremio pueda realizarse en ciclos de tiempos takt.

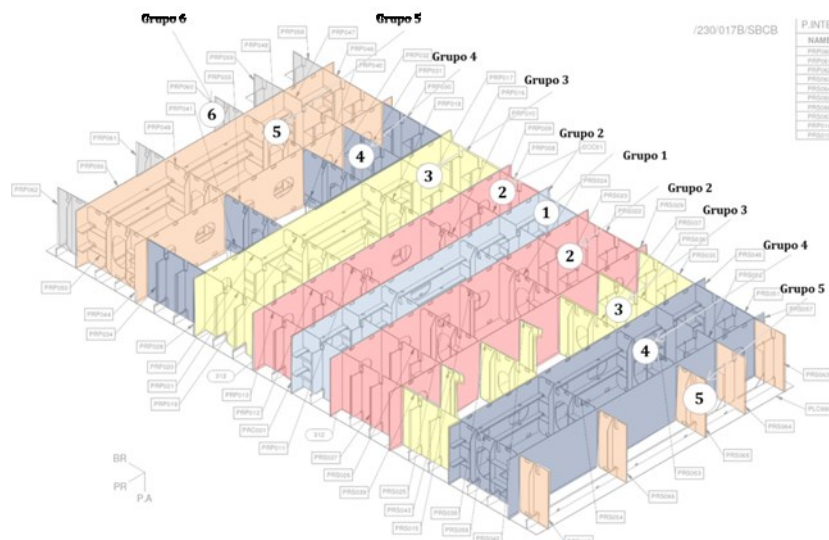


Ilustración 13. Definición de áreas. (Fuente: Academia Lean Navantia)

4. Definición de la secuenciación técnica de las actividades de un área (elaborado, soldado, montaje tubería, etc.)

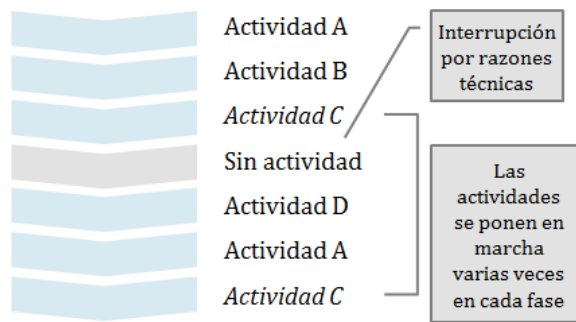


Ilustración 14. Secuencia de actividades. (Fuente: Academia Lean Navantia)

Se realiza una secuencia técnica de actividades por áreas. Estas actividades pueden pasar por un área varias veces. La secuencia debe tener en cuenta las condiciones técnicas (p. ej: tiempo de secado de la pintura, etc.)

Ej: Corte, elaborado, montaje tuberías, montaje polines, etc.

En la siguiente ilustración puede verse la secuencia de programación tradicional en la construcción naval, que es la siguiente:

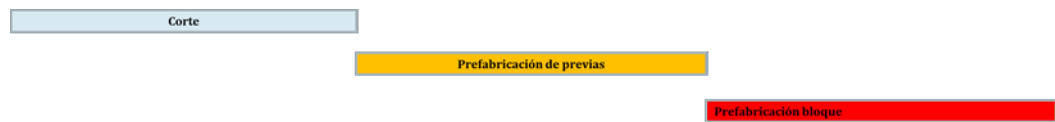


Ilustración 15. Secuencia tradicional de actividades. (Fuente: Academia Lean Navantia)

Se trabaja con enormes lotes de fabricación y de transferencia lo que hace que la unidad de medida de referencia en la planificación en la mayoría de los astilleros sea la semana.

Al introducir el concepto de áreas de trabajo y de grupos de prefabricación se reduce de manera muy considerable el tamaño de lote y por tanto se consigue que, aun cuando la duración de los principales procesos sea la misma la duración total sea mucho menor, los productos intermedios fabricados están disponibles mucho antes para el siguiente proceso sin almacenamientos intermedios ni tiempos de espera.

Se busca por tanto que esta secuencia de programación Lean sea en base de programación diaria de actividades.

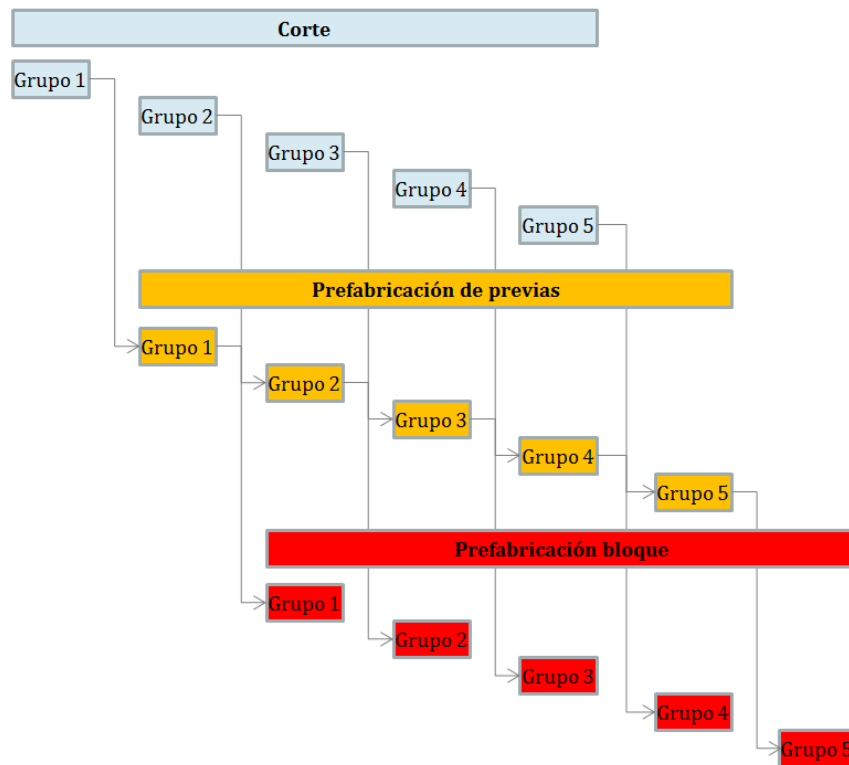


Ilustración 16. Secuencia de actividades Lean. (Fuente: Academia Lean Navantia)

Esto se ve con más detalle en la ilustración siguiente, donde se aprecia con claridad el tiempo ahorrado entre 1 y 2.

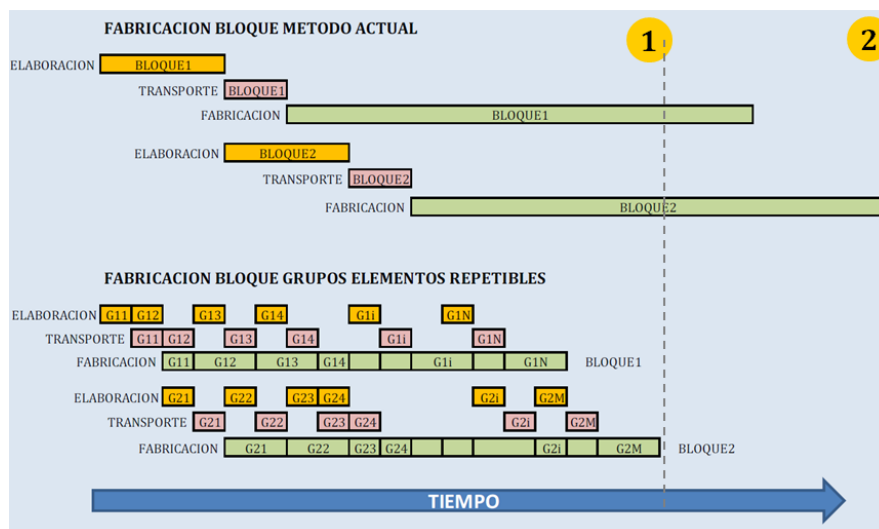


Ilustración 17. Comparación de secuencias de actividades Lean. (Fuente: Academia Lean Navantia)

5. Preparación de cuadros de desempeño para las actividades (estimación de ratios)

En esta etapa se identifica con precisión el contenido del trabajo y el esfuerzo necesario por cada actividad. Los valores empíricos permiten estimar el tiempo necesario dentro de la secuencia y se comparan los ratios de productividad disponibles con los tiempos de ciclo.

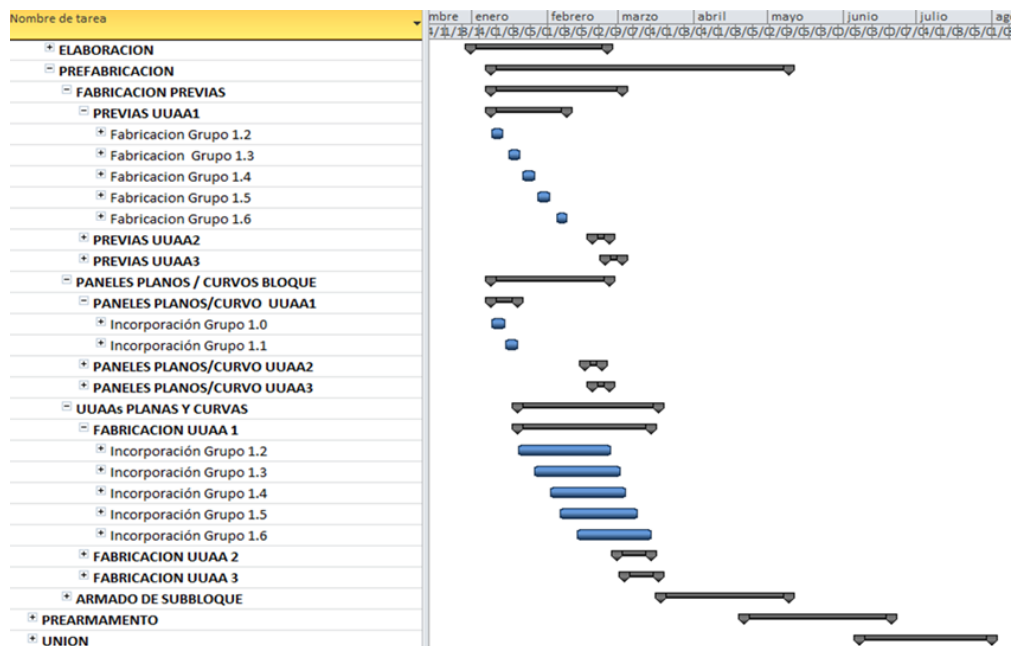


Ilustración 18. Ejemplo Secuencia de actividades Lean. (Fuente: Academia Lean Navantia)

6. Coordinación de las actividades de cada área a una velocidad takt adecuada
- Se definen y alinean en este paso todas las actividades del sistema a la velocidad takt. Es necesario adaptar las capacidades de las actividades al takt establecido. Además al realizar ahora más actividades en paralelo se acortan de manera significativa los tiempos de ciclo.
7. Calendario de la secuencia global incluyendo todas las áreas (programación)
- Se realiza una planificación diaria orientada a áreas de trabajo del bloque, no ya del bloque. Y se definen las actividades a realizar para cada disciplina en cada zona en uno o varios takts.
- El reparto definitivo de tareas según takts se realiza cuando se dispone de la ingeniería de detalle, no antes.

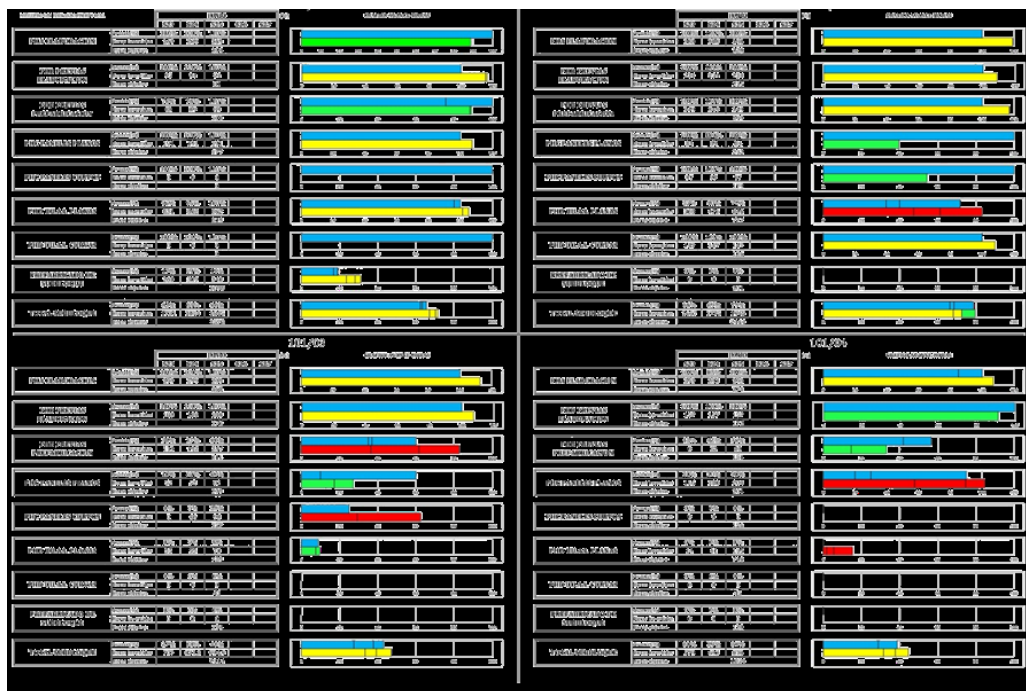


Ilustración 19. Fuente: Academia Lean Navantía

1.3.5.- Pull

Ya se ha visto en el punto anterior que establecer un flujo continuo e ininterrumpidos de forma regular es un objetivo vital a buscar a la hora de implantar Lean. También se ha visto que eso exige que los procesos estén fuertemente ligados y vinculados entre sí. Esto no solo es aplicable a los procesos productivos sino a todos los procesos de la empresa, desde ingeniería, las compras, la logística, el mantenimiento, los recursos humanos, etc.

El flujo pull es la base de la producción Lean y en cierta forma se basa en el modelo de reposición de las estanterías de los supermercados, donde los clientes retiran los productos deseados y el personal del supermercado lo que hace es reponer exclusivamente los productos consumidos, de esta manera se consigue ajustar la reposición a la demanda por medio de stocks muy controlados y limitados en su cantidad.

En el astillero debe hacerse igual, y a modo de ejemplo elaboración debe de cortar las piezas a medida que prefabricación las va consumiendo para la prefabricación de los productos intermedios, o el taller de tubería va elaborando las tuberías a

medida que el montaje va retirando los palets² de tubos para su montaje en el bloque o a bordo.

Es necesario disponer de un stock mínimo que se irá ajustando a medida que se va perfeccionando el sistema.

En lugar del sistema de supermercado puede usarse también en el astillero el sistema FIFO (FIRST IN FIRST OUT). En este caso y con una secuencia de trabajo perfectamente definida en base a una programación takt, son los procesos cliente los que van tirando del proceso anterior según la programación, escogiendo siempre el producto intermedio fabricado más antiguo pues será el primero disponible en la línea para ser seleccionado.

A modo de resumen diremos que en el flujo pull la reposición del material se basa en el consumo y apenas hay producción en inventario.

1.3.6.- Cero defectos

La filosofía de cero defectos persigue mejorar la efectividad y la satisfacción del cliente a través de la eliminación de los costes de no calidad.

Con cero defectos se pretende alcanzar un resultado de producción con una calidad tal que se satisfagan todas las necesidades del cliente y se cumplan todas las especificaciones del diseño.

Es decir, cero defectos supone eliminar el coste de los reprocesos (productos intermedios defectuosos), sin desechos (piezas rechazadas) y sin necesidad de gestionar piezas innecesarias. En consecuencia, aumenta la efectividad de la mano de obra y la maquinaria y la satisfacción de los clientes, y se reducen las reclamaciones internas y externas.

Realmente no solo se persigue eliminar los defectos sino que estos, una vez detectados se tienen que solucionar al momento sin que lleguen a pasar al siguiente proceso productivo.

² Se llama paletización al sistema de logística que trata de preparar los materiales que cada taller, área o departamento necesita en cada momento durante la construcción

Para orientar el modelo productivo hacia los cero defectos se ha instaurado un sistema de Puertas de Calidad (Quality Gates), que es una herramienta que contribuye al control de la calidad del producto interviniendo en la entrega de los productos intermedios.

Consiste en establecer una serie de puntos de control a lo largo del ciclo de vida del proyecto en los que se evalúan los entregables intermedios, en términos de calidad y avance, y se toman decisiones sobre si se puede continuar a la siguiente etapa.

De este modo, la evaluación del producto en términos de Calidad y de avance puede ser controlada de forma transparente a través de toda la organización.

Las Puertas de Calidad facilitan una visibilidad temprana de las posibles no conformidades y por tanto permiten el establecimiento de acciones correctivas y preventivas en las etapas adecuadas de la realización del producto

1.3.7.- Seguimiento a través de indicadores clave

Cualquier gran empresa tiene implantado un sistema de indicadores clave donde se puede medir prácticamente cualquier tipo de actividad que se ejecute en ella, y un astillero no es diferente pues se manejan casi 500 indicadores de todo tipo.

Esto a veces nos hace perder la perspectiva del proyecto. Se establece por tanto un nuevo sistema de indicadores clave de desempeño KPIs (Key Performance Indicators) que nos ayuden a aumentar la eficiencia en la gestión diaria del proyecto.

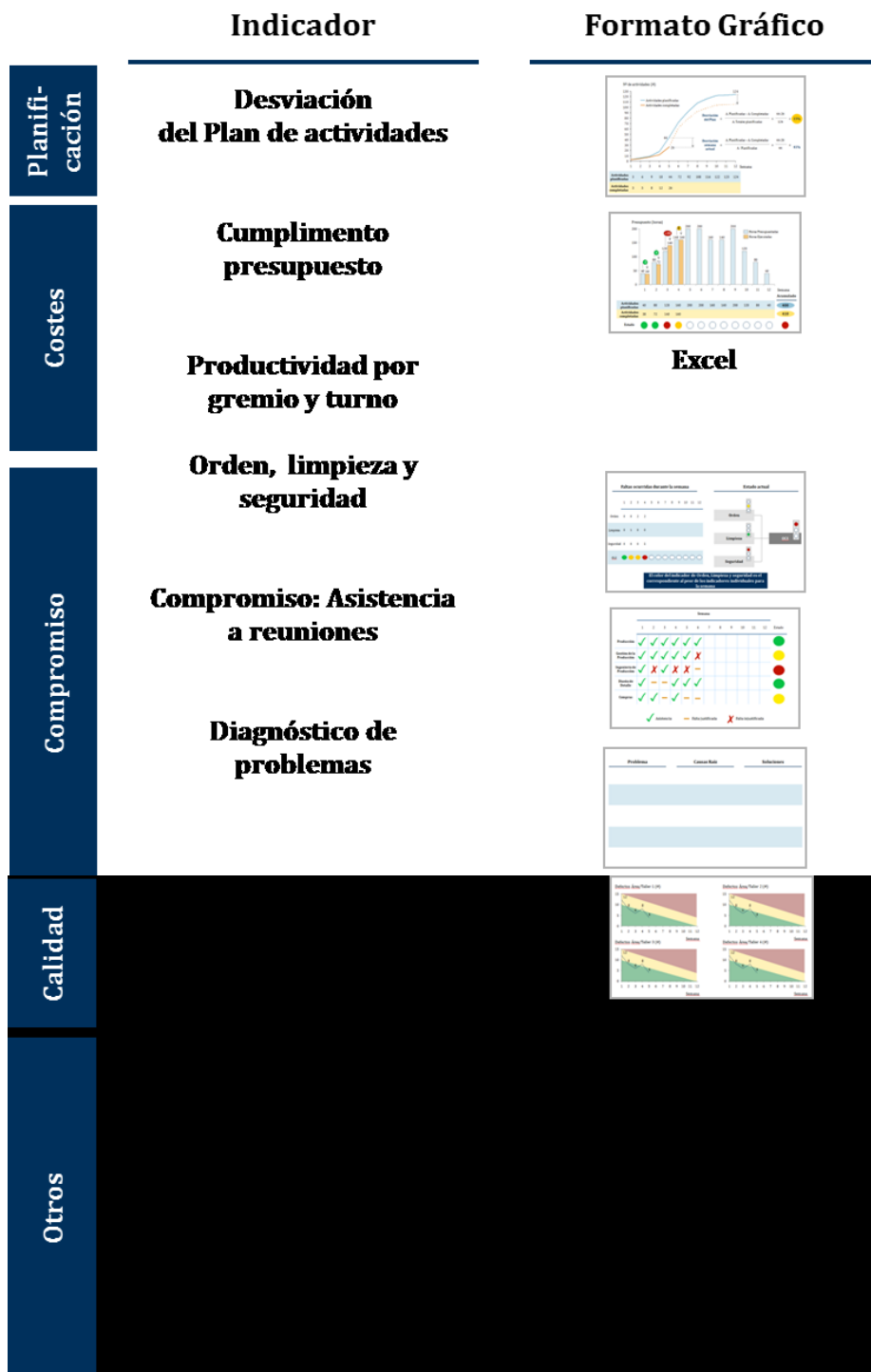


Ilustración 20. KPIs. (Fuente: Academia Lean Navantia)

1.3.8.- Go to Gemba

Gemba o Genba es el lugar donde suceden las cosas. Según Taiichi Ohno, gemba es el lugar de la fábrica donde se produce una transformación física de la materia

prima en producto elaborado, es decir donde se está aportando valor al producto para el cliente (interno o externo).

Por tanto Go to Gemba supone ir al lugar de creación de valor (taller, grada, etc.) e implicarse en el proceso de forma rutinaria involucrando a las diferentes funciones. Evidentemente en un astillero no solo se aporta valor en producción sino en toda la cadena de valor del buque, es decir desde la etapa de viabilidad, a la más temprana del diseño, en la ingeniería, en la gestión, en las compras, etc.

Inicialmente "Go to Gemba" era en TOYOTA una filosofía para que los gestores y directivos saliesen de sus despachos y pasasen más tiempo en la planta, observando de primera mano lo que allí sucedía, conectando con sus empleados y entendiendo sus problemas diarios.

Es esencial que los gestores se impliquen directamente en la realidad de la planta y que trabajen con el personal de la construcción y les apoyen en la búsqueda de las soluciones. El Go to Gemba se basa fuertemente en el trabajo en equipo y como hemos dicho debe involucrar a todas las funciones: Ingeniería, aprovisionamientos, etc.

El Go to Gemba se ha entendido en esta investigación como acercar físicamente al equipo de proyecto del buque al lugar donde se está aportando valor en cada fase de la construcción del buque porque allí es donde se producen los problemas y por tanto deben resolverse con más rapidez.

Debido a esto el equipo de proyecto ha estado físicamente al comienzo del proyecto en ingeniería y compras, más tarde y a medida que avanzaba la construcción se ha trasladado a la grada hasta el momento de la botadura y finalmente se ha trasladado al muelle de armamento hasta la entrega del mismo al cliente.



Ilustración 21. Go to Gemba. (Fuente: Academia Lean Navantia)

1.3.9.- Kaizen

Para la gestión del cambio es fundamental adquirir la cultura de la Mejora Continua. Para ello se han puesto en marcha dos iniciativas:

1. una sistemática de resolución de problemas como puede verse en el cuadro adjunto

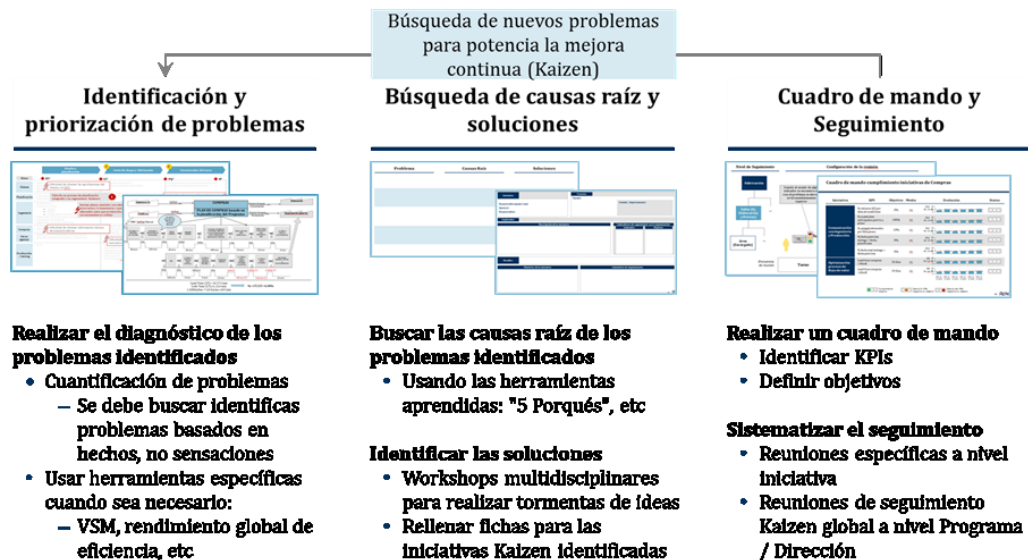


Ilustración 22. Go to Gemba. (Fuente: Academia Lean Navantia)

2. se ha considerado que para establecer una cultura de mejora continua es indispensable la correcta formación de todos los agentes implicados en el

proceso de mejora. Para ello se ha creado la Academia Lean, primera y única en un astillero español hasta la fecha.



Ilustración 23. Academia Lean. (Fuente: Academia Lean Navantia)

1.3.10.- Herramientas y técnicas empleadas

Las principales herramientas y técnicas empleadas en la presente investigación son:

- VSM (Value Stream Mapping). Esta herramienta conocida en castellano como Análisis de la Cadena de Valor o también como VSM fue desarrollada por Mike Rother y John Shook³ a finales de los años 90. Consiste en un mapa que muestra todas las acciones (de valor añadido y sin valor añadido) necesarias en términos de flujo del material físico y flujo de información para entregar un producto al cliente (interno o externo). Realmente es una herramienta estratégica y muy potente que permite englobar la situación actual de la empresa y, a la vez, mostrar los problemas o puntos clave de mejora con el fin de llegar a un estado futuro ideal de flujo, producción “pull” y perfección en las cadenas de valor. Esta herramienta que es básica tanto para hacer el diagnóstico de la situación inicial como para el modelo

³ Rother, Mike, and John Shook. Learning to See: Value-Stream Mapping to Create Value and Eliminate Muda: Version 1.3 June 2003. Lean Enterprise Institute

de trabajo futuro, se ha utilizado en esta investigación localmente, incluida a veces en otras herramientas como los eventos o talleres kaizen.

El VSM se ha utilizado como herramienta para analizar de forma global la cadena de valor, más allá del análisis de un único proceso y recogiendo únicamente ciertos datos generales de las distintas operaciones que se realizan. El objetivo de este análisis de la cadena de valor es obtener una perspectiva general del conjunto, no sólo de los procesos individuales, y mejorar todo, no sólo optimizar las partes. A partir de la información recopilada se debe establecer cuál es la situación objetivo con el mapa futuro de la cadena de valor.

Por último se establecerá un plan de acciones donde se especificarán los cambios que es necesario realizar y los responsables de los mismos.

El objetivo puede ser el obtener una visión del flujo de producción “de puerta a puerta” en una planta, incluyendo la expedición del producto al cliente de la planta y la entrega de piezas y el material; o, en el caso de empresas grandes, el estudio de la cadena de valor de un producto que pasa por varias instalaciones.

El análisis se centra particularmente en la relación entre el flujo de materiales y el flujo de información. Normalmente el estudio de la cadena de valor se centra en la optimización del flujo de los materiales a lo largo de todo el proceso productivo. En la construcción *lean*, el flujo de información se considera tan importante como el de material. De manera general el proceso de mapeado debe realizarse con el objetivo de responder la pregunta *¿cómo se puede hacer fluir la información de tal forma que un proceso haga solamente lo que necesita el próximo proceso y cuando lo necesita?*

- Evento o Taller Kaizen. Consiste en una intervención de carácter intensivo en el tiempo (generalmente una semana en nuestro caso) dirigida a la implantación y puesta en práctica de metodologías de mejora llevada a cabo por un grupo de trabajo dedicado al efecto. Basa su actuación en la concentración de esfuerzos, recursos y en la realización de una gran

cantidad de acciones en un área reducida del proceso con el fin de apreciar cambios con gran rapidez y conseguir resultados cuantificables

En esta investigación se ha usado para:

- mejorar tanto la eficiencia de los procesos de fabricación, como de los flujos de materiales mediante la eliminación sistemática del “despilfarro” en cada actividad
 - disminuir el plazo de entrega de los diferentes productos fabricados, ya sea tubería, conductos de ventilación, previas o productos intermedios en general
 - ajustar la planificación y la programación de la producción a la demanda interna y externa
 - estabilizar los procesos de fabricación
- 5S. Es la disciplina básica de mejora para los puestos de trabajo, tanto en oficinas como en talleres. La experiencia nos dice que es de las primeras herramientas en aplicarse porque entre sus principales objetivos está iniciar el cambio cultural necesario para implicar a las personas en la mejora continua y el trabajo en equipo, e incrementar los niveles de organización, orden y limpieza en los puestos de trabajo manteniendo los logros alcanzados en el tiempo y que se trabaje permanentemente de una manera estandarizada, más segura, cómoda y eficiente.

Las 5S se empezaron a desarrollar en Japón hace ya muchos años para conseguir un enfoque sistemático de mejoras en los niveles de organización, limpieza y orden. Con el tiempo se han ido extendiendo a todo tipo de organizaciones y ámbitos de trabajo, y son muchas las empresas de todo tipo incluidos por supuesto los astilleros que con una simple aplicación, no exenta de mucho trabajo, alcanzan una mejora notable en todos los niveles.

Las 5S se denominan así porque se implantan en 5 etapas cuyos nombres en japonés empiezan por la letra “S”, y su posterior traducción al inglés también. Las etapas de implantación son las siguientes:

1. Seiri: Organización (Clasificar, ordenar, seleccionar): Se refiere a mantener en el puesto de trabajo solo aquellas cosas que son

necesarias, y eliminar todo aquello que no vamos a utilizar y que sea innecesario en nuestra área o puesto de trabajo. En esta primera etapa también se hace una señalización “macro” de todas aquellas áreas del taller u oficina con funciones diferenciadas.

2. Seito: Orden (Todo en orden, todo en su lugar): En esta etapa ordenamos y ubicamos todos los elementos que se han identificado como necesarios en la etapa anterior de la forma más adecuada posible, para tener fácil y rápido acceso a ellos. La regla básica a aplicar sería “un lugar para cada necesario y cada necesario en su lugar”. Para la ubicación se utilizan “contenedores” entendiendo como tal armarios, estanterías, tableros en la pared con las siluetas de cada elemento, cajones con etiquetas, marcado y señalización en el suelo con pintura para delimitar diferentes áreas, etc. Una vez ubicados todos los necesarios en esta etapa se hace la identificación “micro” de los mismos.
3. Seiso: Limpieza (Conservar todo limpio y en buen estado de uso): Se trata por una parte de eliminar “apaños” y reparaciones provisionales y por otra de facilitar y posibilitar la limpieza más adecuada a cada área de trabajo, así como establecer los procedimientos de limpieza para mantener todo limpio una vez hemos eliminado materiales y documentación innecesaria y hemos ordenado los necesarios que nos han quedado. Con esto lograremos comodidad y seguridad en nuestra área de trabajo. Con todo limpio, es posible que empecemos a detectar cosas que antes la suciedad, los materiales y la documentación innecesaria nos impedía ver: fugas de aceite en máquinas, contaminación por pérdidas, etc.
4. Seiketsu: (Estandarizar, utilizar control visual): Consiste en sistematizar los tres primeros pasos anteriores (3S) aplicando los estándares y condiciones de trabajo establecidas y utilizando controles visuales para detectar anomalías y desviaciones.

5. Shitsuke: (Sostener y Sistematizar): Consiste en sostener en el tiempo los logros alcanzados y seguir mejorando. Esto es lo más complicado. Hay que tener la disciplina y el hábito para integrar los conceptos de las 5S en la rutina diaria de trabajo y contar con el compromiso de todos para trabajar de acuerdo con las normas establecidas; así como de realizar un seguimiento y evaluación periódicos y formales del sistema implantado para detectar desviaciones y anomalías poniendo en marcha actuaciones de mejora para subsanarlas si se producen.

Las 5S son una referencia importante, porque la experiencia nos dice que si no somos capaces de implementar y desarrollar un entorno 5S en nuestra empresa o astillero no seremos capaces de llevar a cabo un proceso de transformación *lean* en nuestra organización.

- Mantenimiento autónomo o auto-mantenimiento. Se orienta a crear unas instalaciones en las que las diferentes máquinas se encuentren y se mantengan en perfectas condiciones de uso de acuerdo con los estándares de calidad. La idea fundamental es que la mejora y buena conservación de las máquinas e instalaciones es una tarea de todos, incluidos los operadores de las máquinas y no solo del personal de mantenimiento. Forma parte del Mantenimiento Productivo Total o TPM se ha aplicado en esta investigación de tal forma que a partir del momento en que se realiza esta actividad de Mantenimiento Autónomo, las tareas básicas del mantenimiento pasan a ser realizadas por los propios operadores de las máquinas.
- Programación Kanban. La palabra japonesa Kanban⁴, que se traduce como “tablero o tarjeta visual” se ha convertido en sinónimo de la programación de la demanda dentro las organizaciones Lean y se ha usado a modo de tablero visual en esta investigación. Con la programación Kanban, el operario usa los signos visuales para determinar cuánto está fabricando y cuando tiene que parar de hacerlo y en qué momento realizar un cambio de producto. Las reglas Kanban también dicen a los operarios, que es lo que

⁴ Programación Kanban. L4: <http://javiersole.com/?p=1773>

tienen que hacer cuando tienen problemas y con quien tienen que hablar cuando los problemas afloran. Finalmente un Kanban bien articulado y bien definido tiene indicadores visuales conocidos como KPI's⁵ que permiten a los responsables de los procesos comprobar en cada momento el status de la planificación a lo largo de la línea de fabricación de un solo vistazo.

Es interesante definir la programación Kanban como la programación de la demanda que necesitan los procesos internos de nuestra organización. En los procesos controlados por Kanbans, los operarios fabrican los productos intermedios basándose en el ratio actual de demanda (Takt Time) para cumplir en cada momento con las necesidades del proceso siguiente.

La programación Kanban tiene como misión reemplazar a:

- las actividades diarias de programación para operar los procesos de producción.
- la necesidad de los programadores de producción de estar continuamente monitorizando el status de producción para determinar el siguiente producto intermedio a fabricar y cuando realizar los cambios de producto.

Los beneficios que se han perseguido a la hora de implantar esta programación Kanban han sido:

- Reducir el inventario en curso.
 - Mejorar el flujo de fabricación.
 - Prevenir la sobreproducción.
 - Facilitar al operario el control de sus operaciones
 - Crear una programación visual y la gestión visual del proceso.
 - Mejorar la respuesta ante los cambios en la demanda de los productos intermedios a fabricar.
- Control visual. Estándar representado mediante un ejemplo gráfico o físico, de color o numérico y muy fácil de ver y comprender. La estandarización se

⁵ Un KPI, del inglés Key Performance Indicator, conocido como indicador clave de desempeño, (o también indicador clave de rendimiento) es una medida del nivel del desempeño de un proceso; el valor del indicador está directamente relacionado con un objetivo fijado de antemano. Normalmente se expresa en porcentaje

transforma en gráficos y éstos se convierten en controles visuales. Se ha integrado como práctica habitual dentro de las 5S, Mantenimiento Autónomo y en los Talleres Kaizen, de tal forma que en todo momento todo el mundo puede saber en qué estado de avance se encuentran todos y cada uno de los procesos.

1.4.- PLAN DE TRABAJO

El desarrollo de la presente investigación se ha realizado durante un período de cinco años.

El primero se ha empleado en la búsqueda de las principales referencias y bibliografía así como en establecer el marco conceptual de la tesis.

En el segundo y tercer año: Estudio del estado del arte y de la revisión exhaustiva de los procesos y métodos de fabricación del astillero elegido para realizar el caso práctico. Además, y en paralelo con lo anterior, se ha empezado con la aplicación de las técnicas y herramientas de fabricación *lean*.

Cuarto y quinto: Continuación con la aplicación de las técnicas y herramientas de fabricación *lean* que finalmente ha derivado hacia un proceso de transformación de todo el astillero hacia un astillero *lean*. Finalmente se ha realizado un análisis de los resultados obtenidos y la redacción definitiva de la tesis para la revisión final por parte del director de la misma para su posterior depósito y lectura.

1.5.- ÍNDICE GENERAL Y ORGANIZACIÓN DE LA TESIS

Teniendo en cuenta lo anterior, la presente tesis doctoral se ha estructurado en siete capítulos, con sus correspondientes objetivos:

1. Capítulo I: Introducción. El propósito del primer capítulo es establecer el marco de la investigación, haciendo una introducción a la misma, planteando los objetivos y explicando la estructura y contenido de la tesis.
2. Capítulo II: Estado del Arte. El segundo capítulo describe el estado del arte tanto de la construcción naval como de la metodología *lean* aplicada a la construcción naval. En este capítulo se analiza con detalle los diferentes

procesos de fabricación habituales en un astillero y el cambio tecnológico en el sector de la construcción naval debido a la evolución de las técnicas y sistemas de construcción.

3. Capítulo III: Caso práctico de implantación. En el tercer capítulo, tras la explicación de la sistemática a aplicar, se utilizan las técnicas y herramientas de *lean* o Producción Ajustada, y se desarrolla una metodología para introducir mejoras en el ciclo de producción del astillero.
4. Capítulo IV: Análisis de los resultados. El cuarto capítulo describe los resultados de los análisis llevados a cabo en los capítulos anteriores.
5. Capítulo V: Conclusiones de la investigación. El capítulo quinto corresponde a la exposición de las conclusiones a las que se ha llegado tras el trabajo de investigación y el trabajo de campo. También se incluyen recomendaciones y líneas futuras de investigación.
6. Capítulo VI: Referencias. En el capítulo sexto se incluyen las principales referencias y la bibliografía utilizada en la investigación.

TEMA 2.- ESTADO DEL ARTE

2.1.- INTRODUCCIÓN

En este segundo capítulo se describe el estado del arte de la construcción naval y de los cambios tecnológicos sufridos durante los últimos 50 años. También se hace una revisión a la evolución de las técnicas y sistemas constructivos utilizados, así como a los cambios en los sistemas de construcción y de diseño de la producción.

También se estudian con detalle los diferentes procesos de fabricación habituales en un astillero y el cambio tecnológico en el sector de la construcción naval debido a la evolución de las técnicas y sistemas de construcción.

Por último se hace una revisión exhaustiva de la literatura existente sobre la aplicación de la metodología Lean Manufacturing en la construcción naval.

2.2.- BREVE DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE UN BUQUE

2.2.1.- Introducción

El método de construcción utilizado en los últimos años en la mayoría de los grandes astilleros tiene varias acepciones aunque la más frecuente es la denominada construcción integrada, la cual define la partición del buque y la clasificación de todas las tareas de producción en zonas y etapas.

En líneas generales, esta metodología se fundamenta en dos principios básicos:

1. El diseño está orientado a la fabricación del producto.
2. La construcción está basada en zonas y etapas con un alto grado de prearmamento antes de subir los bloques a la grada, en una extensa aplicación de módulos y por último en la finalización de trabajos por zonas.

Para representar los procesos del astillero descritos en esta tesis se ha utilizado los diagramas de flujo de datos, adaptados a las particularidades propias de la construcción de un buque en el astillero en el cual se va a llevar a cabo el caso práctico descrito en el capítulo.

2.2.2.- Proceso general de construcción

La construcción de un buque puede verse como una sucesión de procesos, a través de los cuales pasan los productos intermedios (PI) hasta la completa finalización del buque.

Los productos intermedios son unidades físicas resultantes de la subdivisión del buque y de sus sistemas en unidades cada vez menores. Estas unidades constituyen por sí solas e independientemente del resto un elemento claro y preciso a fabricar.

La unión sucesiva de productos intermedios (de rango inferior o superior) generará el producto final a construir, es decir el buque.

Desde hace unos 30 años el sistema tradicional de construcción en la mayoría de los grandes astilleros es el denominado como *construcción integrada*. Este sistema es recogido en la estrategia constructiva del buque y define claramente las diferentes etapas de construcción por las que pasan todos los productos intermedios a medida que se les va añadiendo valor durante toda la construcción y hasta completar finalmente el buque.

A continuación se describen los principales procesos, que pueden variar ligeramente de unos astilleros a otros en función de sus capacidades, modelo de producción, etc.:

- Elaboración de elementos simples. La fabricación de elementos simples produce componentes para el buque que no pueden ser subdivididos en elementos de menor entidad.

Las principales disciplinas que forman parte directamente del proceso, son:

- Elaboración: corte y conformado de chapas y perfiles de acero.
- Tubería: fabricación, instalación y realización de la prueba hidráulica de los diferentes sistemas de tuberías.
- Módulos: fabricación de los diferentes tipos de módulos definidos para cada buque.

- Chapa Fina: elaboración y montaje de cabinas modulares de habilitación, conductos de ventilación y todo tipo de trabajos diversos relacionados con la habilitación del buque.
- Electricidad, Electrónica y Armas: instalación, puesta a punto y pruebas de los sistemas eléctricos, electrónicos y del Sistema de Combate (este último en el caso de que el buque sea de guerra).
- Montaje a Flote: instalación de equipos principales del buque y realización de pruebas de funcionamiento de los sistemas de tuberías, ventilación, ascensores, motores, turbinas, etc.
- Pintura: coordinación y ejecución de tratamientos de superficies, llevando a cabo todas las labores de chorreado y pintado.
- Pruebas: preparación, coordinación y realización de los protocolos de pruebas.
- Construcción de bloques. Incluye:
 - Prefabricación de bloques, unión y soldadura de las piezas simples de acero elaboradas en el proceso anterior.
 - Pre-armamento llamado de fase P1, el cual incluye la integración de todos los elementos elaborados que requieren soldadura en los bloques prefabricados. Por ejemplo, tubería, conductos de ventilación, soportes de equipos eléctrico, módulos de tuberías, etc.
 - Chorreado y pintado de bloques, durante el cual tiene lugar la preparación de superficies y el pintado.
 - Pre-armamento de fase P2, definido por un alcance de los trabajos llevados a cabo que no necesiten ser soldados. Por ejemplo, montaje de equipos, tendido de cables, aislamiento, módulos de equipos, cabinas modulares de habilitación, etc.
- Montaje de bloques en grada o dique y armamento de zonas. Los bloques son montados en la grada y se van formando las zonas del buque. Se definen para este momento la instalación de los equipos propulsores (turbina de gas, motor propulsor, engranaje reductor, etc.), tendido de cables principales, y

en general instalación de todos los elementos que pueden ser instalados en este momento.

- Trabajos de armamento a flote por zonas. Una vez que el buque se encuentra a flote, se realiza el montaje del resto de elementos de armamento no instalados previamente y la progresiva entrega (finalización y entrega al cliente para su aceptación) de todos los locales y espacios del buque.
- Realización de pruebas de instalación, de activación, de integración, pruebas de puerto y pruebas de mar, para confirmar el cumplimiento de todos los requisitos funcionales del buque.
- La finalización de los procesos descritos da lugar al buque terminado. A partir de este momento se considera que el buque está listo para su entrega final al cliente.

2.3.- EVOLUCIÓN TECNOLÓGICA EN LA CONSTRUCCIÓN NAVAL

Hay dos factores que han sido clave para la supervivencia y competitividad de las empresas y de los astilleros dedicados a la construcción naval durante los últimos 50 años, y estos son sin duda⁶:

1. la innovación tecnológica, entendiéndolo como tal cuando utilizamos la tecnología para introducir un cambio en nuestro modelo de diseño o de construcción.
2. la organización eficiente del proceso productivo, factor determinante para un astillero dadas las características peculiares del sistema de construcción de un buque.

La perspectiva de la evolución tecnológica de la construcción naval en el último medio siglo servirá de marco de análisis del comportamiento tecnológico y organizativo de la industria de construcción naval en España y nos ayudará a entender el gran proceso de transformación producido en la industria de construcción naval a lo largo de este período.

⁶ Houpt, Stefan y Ortiz-Villajos, José M. (dir.) (1998): Astilleros Españoles, 1872-1998: La construcción naval en España, Madrid: LID Editorial, 531 páginas, ISBN: 84-88717-14-8.

Las principales causas que han impulsado la continua evolución del sector de la Construcción Naval son los siguientes⁷:

- Nuevas demandas y requerimientos del transporte marítimo.
- Mejora de las condiciones medioambientales, de prevención y seguridad para las personas que llevan a cabo los trabajos en los Astilleros.
- Incremento de la globalización de la oferta en cualquier segmento del mercado, motivando una fuerte competencia entre astilleros que exige la máxima reducción en los costes (tanto de la industria principal como de las industrias auxiliares y suministradoras).
- Perfeccionamiento en los sistemas de cálculo de las estructuras marinas y de sus componentes con el doble impacto de posibilitar el análisis de proyectos complejos y novedosos y, por otro lado de permitir la disminución de los excesivos márgenes de seguridad en los cálculos, diseño y construcción usados antiguamente.
- Mejora en la calidad y en los procesos de construcción en los astilleros.
- Disminución de los costes de explotación de los buques, exigiendo equipos e instalaciones de menor consumo energético y de mayor complejidad técnica y operativa.
- Necesidad de minimizar los costes de fabricación y de aprovisionamiento.

Estos factores anteriormente mencionados han provocado una auténtica revolución tecnológica en los sistemas de fabricación, de organización y de gestión en los astilleros.

Según Emilio Carnevali (1992) "la Industria de Construcción Naval moderna es una mezcla de dos tipos de industrias⁸:

- a) la Industria de Fabricación, cuyo ejemplo típico es la industria del automóvil,
- y

⁷ "La integración de procesos en la Construcción Naval". Instituto Marítimo Español, año 2008.
Web: www.ime.es

⁸ CARNEVALI RODRÍGUEZ, Emilio (1992): "La Dirección del Astillero, como función específica, factor clave en el proceso productivo", en Ingeniería Naval, abril de 1992, N° 682, pp. 171-185

b) la Industria de Ingeniería y Construcción, cuyo ejemplo típico es la construcción de una planta industrial”.

Y decimos que es una mezcla, porque la construcción naval tiene características de una y de otra: el buque es un producto individualizado, con una ingeniería específica, con unas exigencias contractuales también particularizadas; “pero, por otro lado, el astillero es una fábrica con un inmovilizado muy importante, con unas plantillas fijas muy numerosas, con talleres cuya saturación⁹ es la clave de su optimización económica. En definitiva, con un coste fijo sustancial”.

Esta industria, por tanto; tiene todas las desventajas de las industrias de fabricación, con sus altos costes fijos, pero no sus grandes ventajas, es decir la fabricación en serie de un único producto.

Y aunque tiene la misma desventaja que las industrias de ingeniería y construcción, la fabricación de productos individualizados y complejos, no tiene su gran ventaja: la flexibilidad por los bajos costes fijos.

En definitiva, y como explica Emilio Carnevali, la industria de la construcción naval tiene seis características básicas:

1. Ingeniería específica
2. Contrato individualizado
3. Coste variable alto
4. Inmovilizado importante
5. Plantas fijas
6. Coste fijo alto

Todas estas características, dentro de un mercado que es por definición, global, es decir mundial y además cíclico, con fuertes ciclos expansivos y recesivos, hacen que se trate de un sector de alta complejidad, al que le resulta especialmente complicado hacer innovaciones y reestructuraciones que, por otro lado, necesita realizar de manera constante.

⁹ En este contexto el autor se está refiriendo a la antigua producción en masa, aunque todavía vigente hoy en día en la mayoría de los astilleros.

CARNEVALI RODRÍGUEZ, Emilio (1992):"La Dirección del Astillero, como función específica, factor clave en el proceso productivo", en Ingeniería Naval, abril de 1992, N° 682, pp. 171-185

La dura competitividad del sector hace que las empresas de construcción naval deban estar innovando constantemente, tanto en “las tecnologías que integra y utiliza en sus procesos” como “en sus métodos para mejorar la productividad, los plazos y la calidad”¹⁰.

Stefan Houpt, y José M Ortiz-Villajos en su libro “Astilleros Españoles, 1872-1998: La construcción naval en España” (1998)¹¹ dicen que las características particulares del sector de la construcción naval han implicado históricamente que las innovaciones en cualquiera de los aspectos empresariales -producto, fabricación, gestión, organización, comercial... - se hayan traducido en cambios dentro de los otros aspectos. Así, la introducción de nuevos materiales y equipos en los buques junto con la constante innovación en la maquinaria de fabricación se han traducido en innovaciones en las técnicas de fabricación. Las innovaciones en las técnicas de fabricación han motivado cambios profundos en los sistemas y organización de la producción y en la gestión de la empresa, etc.

Todos estos cambios junto con el constante incremento en la complejidad y el tamaño de los buques, los cada vez más exigentes requisitos exigidos por los organismos reguladores nacionales e internacionales, las sociedades de clasificación, etc. han implicado en primer lugar un aumento del tamaño físico de las factorías, pero también una cada vez más compleja disposición de los distintos talleres y almacenes con respecto a las gradas de construcción; una constante innovación en los medios y conocimientos técnicos de fabricación.

2.3.1.- Evolución de las técnicas y sistemas de construcción en los astilleros

Como ya se ha visto, todos los factores anteriormente mencionados y que han impulsado la continua evolución del sector de la Construcción Naval han afectado a dos aspectos diferenciados, aunque íntimamente ligados: las técnicas de construcción naval, por un lado, y, por otro, los sistemas de fabricación de los buques y artefactos marinos.

¹⁰ Emilio Carnevali Rodríguez (1992), p.175

¹¹ Houpt, Stefan y Ortiz-Villajos, José M. (dir.) (1998): Astilleros Españoles, 1872-1998: La construcción naval en España, Madrid: LID Editorial, 531 páginas, ISBN: 84-88717-14-8

Las innovaciones en las técnicas de fabricación han originado fuertes cambios en los sistemas de fabricación¹², en la concepción y distribución de la factoría, y en los sistemas de gestión.

En el proceso de modernización de los sistemas de fabricación, se puede decir que ha habido cuatro grandes etapas a lo largo del último siglo:

Etapa 1.- Fabricación tradicional por sistemas independientes. Este método de fabricación coincide básicamente con la etapa de uso de la técnica de remachado del casco, en la que se concebía el casco como una única pieza que había que ir construyendo en la grada poco a poco. “Se hacían planos de la quilla, de las cuadernas, del forro exterior, etc., y en base a esta información se procedía al montaje de los componentes del acero estructural que respetaba la misma secuencia. Por supuesto el armamento era considerado como una etapa independiente, que nunca comenzaba hasta después de haberse completado el casco y haberlo botado”¹³.

El método de fabricación era, por tanto, un proceso gradual y secuencial en el que no se iniciaba una etapa hasta no haber terminado la anterior por el orden de la secuencia de construcción".

Esto implicaba que la gran mayoría de los operarios debían de estar todos juntos trabajando en la grada durante el montaje del casco y posteriormente todos otra vez en el muelle durante la instalación del armamento (los sistemas) con las limitaciones de espacio y los cuellos de botella que este sistema generaba. De esta forma el tiempo de fabricación se alargaba enormemente. Este método se empleaba del mismo modo para una pequeña embarcación de 27 metros de eslora como para un gran trasatlántico de 200 o más metros de eslora.

Etapa 2.- Fabricación del casco por bloques y del armamento por sistemas a bordo, una vez terminado el casco. Durante el primer tercio del siglo XX se fue desarrollando, simultáneamente al desarrollo de las técnicas de remachado y, sobre

¹² Houpt, Stefan y Ortiz-Villajos, José M. (dir.) (1998): Astilleros Españoles, 1872-1998: La construcción naval en España, Madrid: LID Editorial, 531 páginas, ISBN: 84-88717-14-8

¹³ Casas Rodríguez et al. (1992), p. 196.

todo, de soldadura, otra gran innovación en el método de fabricación de buques: el sistema de montajes parciales y partes prefabricadas o sistema de bloques. Este método de fabricación, al igual que la sustitución del remachado por la soldadura, se ideó por la necesidad de disminuir los costes fijos unitarios a través de la reducción del plazo de entrega. Básicamente consistía en la división del casco del buque en una serie de componentes o elementos constructivos denominados bloques de construcción, cuanto más grandes mejor, que se fabricaban fuera de la grada, donde luego se montaban posteriormente. «Se puede afirmar que fue la aparición de la soldadura, como método alternativo al remachado para la unión de piezas de acero, la que supuso una ruptura» en el sistema tradicional de fabricación y la consolidación definitiva del sistema de bloques. Aunque, como hemos dicho, durante los años 20 y 30 -la etapa en la que convivieron el remachado y la soldadura se llegó a utilizar el sistema de bloques con la técnica de remachado, es decir, se fabricaron bloques del casco remachados fuera de la grada.¹⁴

Este nuevo sistema permitía fabricar los bloques fuera de la grada, generalmente en talleres o mesas de construcción, lo que implicaba, entre otras cuestiones, un considerable acortamiento de los tiempos de fabricación, si bien originaba otros problemas como la necesidad de un mayor espacio para la fabricación de los bloques. Este sistema condujo a una revolución en los sistemas de organización de la producción. Por un lado, la determinación del número y tamaño de los bloques implicaba un esfuerzo previo muy importante del diseño del casco para que el montaje final de los bloques diera como resultado el casco previsto. Por otro lado, el sistema de bloques requería un esfuerzo muy importante en la organización del trabajo para que cada trabajador supiera en todo momento su función y los plazos requeridos para la finalización de cada tarea, de tal forma que no se produjeran cuellos de botella o retrasos por este motivo.

El sistema de bloques conseguía la prefabricación del casco, pero el armamento todavía seguía montándose dentro de éste una vez construido. Es decir, una vez terminado el casco era necesario instalar los sistemas y los aparatos que hacían

¹⁴ Federico Beigbeder Atienza, Revista de Ingeniería Naval, N° 97, p. 403, julio de 1943

funcionar el barco, así como otros accesorios y el acondicionamiento definitivo. El montaje del armamento había de ser, por tanto, posterior al de la fabricación del casco y, además, implicaba un frenazo en la velocidad de fabricación, pues los técnicos instaladores de cada sistema habían de trabajar todos en un espacio reducido, produciéndose, a la vez, importantes cuellos de botella en esta fase final de construcción del buque. Durante muchos años, el cambio de filosofía que supuso la introducción del sistema de bloques “quedó restringido al diseño y montaje del acero del casco”¹⁵

Etapa 3.- Prearmamento de los bloques del casco. La siguiente gran innovación fue ideada por los japoneses en la segunda mitad del siglo XX, e iba dirigida, precisamente, a solucionar este problema. Se trataba de la fabricación por módulos, que consistía, básicamente, en la prefabricación tanto de los bloques del casco, como de los sistemas, es decir el armamento, correspondiente a cada bloque, que se instalaban dentro de cada uno antes del montaje final del casco en la grada

Es decir, se trataba de prefabricar los módulos, que incorporaban dentro del bloque de casco la parte del armamento que les correspondía. De esta forma, una vez ensamblados los módulos en la grada, se puede decir que el barco estaba prácticamente terminado.

Pero el problema fundamental que se mantenía en esta etapa era que el diseño inicial del armamento se seguía realizando por sistemas, es decir, para el barco en su conjunto, sin tener en cuenta que éste se fabricaba en bloques prearmados; lo que implicaba que los departamentos de producción tenían que reinterpretar esta información técnica “extrayendo de los planos de los distintos sistemas exclusivamente la información necesaria para prearmar un bloque determinado. Así se daba la circunstancia de que tanto el diseño de detalle como el acopio de materiales se hacía siguiendo la tecnología de sistemas, mientras que los trabajos de producción de armamento se realizaban de acuerdo con la técnica contrapuesta del trabajo por zonas”¹⁶

¹⁵ Casas Rodríguez et al. (1992), p. 196.

¹⁶ Casas Rodríguez et al. (1992), p. 196-197.

A pesar de todo, el avance con respecto a la anterior etapa era muy notable, pues se consiguió reducir el excesivo tiempo de fabricación que implicaba la instalación de todo el armamento a bordo. Sin embargo, no se había alcanzado todavía “una situación óptima debido a la pérdida de productividad que la mezcla del enfoque por sistemas y zonas”¹⁷ llevaba consigo.

Etapa 4.- Casco, armamento y pintado por zonas y etapas. Para solucionar el gran problema de la etapa anterior, los japoneses idearon en los años 80 el sistema de construcción integrada de casco y armamento, que suponía el diseño previo por zonas no sólo de los bloques del casco, sino también de la parte del armamento que correspondía a cada bloque, “implicando en el proceso no sólo a los talleres de fabricación, sino que también, y de forma decisiva y fundamental, a la Oficina Técnica donde se realiza la ingeniería de detalle”¹⁸. Como se puede suponer, esto implicó una complejidad enorme en el diseño de la producción, que se tradujo en un esfuerzo mucho mayor que antes en el tamaño y la organización de la Oficina Técnica, y la introducción de técnicas informáticas, sin las que era realmente imposible conseguir introducir esta innovación: los sistemas CAD/CAM/CAE para el diseño integrado del buque.

Hoy en día en los astilleros que realmente han alcanzado este estado, la construcción del casco y del armamento tienden a ser tratados ya como actividades integradas y no separadas; el casco no se considera que esté formado por bloques de acero, sino por unidades de montaje con armamento casi completo. Una característica adicional de esta integración es que los trabajos de pintado se efectúan asimismo como otra obra más dentro del proceso de construcción, prácticamente por cada zona y en cada etapa del mismo, en vez de realizarse en el periodo final de terminación del buque.

El factor clave para el éxito de la aplicación del pintado en los productos intermedios estructurales y de armamento, es la máxima reducción posible de todos los trabajos de reprocesado que se producen durante la construcción del

¹⁷ Casas Rodríguez et al. (1992), p. 196-197

¹⁸ Casas Rodríguez et al. (1992), p. 196

buque. Esto tiene un doble motivo: 1) por los propios costes adicionales de la repetición y/o corrección de tareas ya efectuadas y 2) por la mayor dificultad y peligros implícitos en realizar trabajos en caliente sobre elementos que ya tienen la pintura aplicada.

Es por ello que esta fase puede implantarse con las garantías de éxito necesarias cuando por una parte el diseño del buque está lo suficientemente consolidado como para no tener demasiadas revisiones a los planos ya emitidos, y por otra cuando el análisis estadístico de los procesos ha alcanzado un grado de madurez que permite conocer y tener bajo control el volumen de trabajos de reprocesado.

En cuanto al aspecto evolutivo del armamento, cabe señalar ahora que en esta etapa se hace uso de cualquier oportunidad que se presente para incorporar elementos de armamento a un producto intermedio estructural, por simple que éste sea, siempre que el montaje se realice en una situación más cómoda y segura que en cualquier momento posterior y que el producto intermedio resultante no produzca interferencias en su ensamblaje posterior con otros productos intermedios de rango superior. Esta necesidad de adelantar el armamento no es fruto de una improvisación, sino que obedece a la estrategia establecida al principio del proyecto o a una mejora durante el proceso de diseño; en cualquier caso con su correspondiente repercusión en las documentaciones técnicas y en la gestión de los materiales afectados.

Etapa 5. Construcción Robotizada¹⁹

Este estado está en pleno desarrollo en diversos astilleros japoneses y coreanos y en un menor número de astilleros europeos y españoles, habiéndose iniciado su implantación con éxito en determinados procesos de fabricación a principios de la década de los 90, tras un periodo de investigación y pruebas dentro de los propios astilleros. Comenzó su aplicación en la fabricación de productos intermedios estructurales sencillos (línea de procesado de perfiles, líneas de fabricación de previas simples y complejas, línea de fabricación de paneles planos, etc.),

¹⁹ “La integración de procesos en la Construcción Naval”. Instituto Marítimo Español, año 2008.
Web: www.ime.es

avanzando su desarrollo hasta productos intermedios más complejos como bloques planos del doble fondo y del doble casco, curvado robotizado de planchas, bloques curvos simples, etc.

Hay referencias de astilleros japoneses y coreanos que tienen en operación una línea de ensamblaje de bloques curvos complejos en la que ha conseguido robotizarse desde la etapa de unión de planchas hasta el montaje y soldadura de los refuerzos longitudinales, siendo éste un paso intermedio para la completa automatización en la fabricación de bloques curvos.

En cuanto al área de armamento, está extendido su uso para la fabricación de tuberías, de piezas de calderería repetitivas y para determinados procesos de pintado, estando en fase experimental la fabricación robotizada de unidades modulares.

Hay cierta unanimidad en que la causa primaria para alcanzar esta fase es la consolidación de un diseño estandarizado y un control estadístico de los procesos de fabricación de los diferentes productos intermedios involucrados en la construcción del buque y ello por una razón muy simple: un robot requiere una programación muy compleja en base a dimensiones y parámetros con pocos márgenes de variación respecto a los datos teóricos programados; si no se dan esas circunstancias de repetitividad y consistencia en las dimensiones reales, la eficacia del robot es todavía pequeña. Es por ello que, salvo en muy contadas excepciones, las inversiones requeridas para líneas de proceso robotizadas están justificadas sólo en aquellos astilleros que han sancionado ampliamente el empleo sistemático de los datos estadísticos como medio de análisis y control de sus procesos y como herramienta básica de mejora de sus procedimientos de diseño, fabricación y tiempo.

2.3.2.- El problema de la fabricación en serie de los buques

Desde mediados del siglo pasado los grandes astilleros se ha enfrentado al gran reto de interiorizar y trasladar el método de fabricación en serie, a imagen y semejanza de la industria del automóvil, al propio negocio de la construcción naval.

Sin embargo las dificultades para la adopción de este método de fabricación se han visto limitadas por la misma naturaleza del producto fabricado en la empresa de construcción naval. Es decir, la mayoría de las veces es mucho más sencillo fabricar miles de coches o de electrodomésticos en serie que un único buque prototipo o una serie muy corta de barcos.

Sin embargo, la concepción tradicional de la industria naval se ha mantenido prácticamente sin cambios hasta épocas muy recientes: ha concebido cada barco como un producto único demandado por un armador único que, en todo momento, ha sido el que ha determinado las características de su barco. Esta ha sido la causa principal por la que la industria de construcción naval ha tardado tanto en empezar a adoptar el sistema de construcción en serie en general y las técnicas de fabricación *lean* en particular.

No obstante esta concepción tradicional de la construcción naval también ha tenido excepciones y se han documentado casos de fabricación en serie en astilleros estadounidenses dedicados a la fabricación de grandes buques.^{20, 21, 22}

Durante la Segunda Guerra Mundial en los Estados Unidos y de la mano de William Francis Gibbs combinaron criterios de producción en masa con técnicas de fabricación en serie. Esto fue posible debido a las especiales necesidades generadas por la Segunda Guerra Mundial, que implicó la demanda de muchos buques iguales en muy poco tiempo, como la famosa clase Liberty, de los que se construyeron un total de 2751 buques entre 1941 y 1945.

Estos buques eran de pequeño porte si los comparamos con los grandes petroleros de la segunda mitad de siglo. Tras la guerra, y con el aumento del tamaño de los buques hubo un retroceso en esta tendencia, donde los armadores impusieron sus criterios a las empresas de construcción naval, que se limitaron a tratar de satisfacerlos.

²⁰ <http://www.usmm.org/libertyships.html>.

²¹ <http://www.u-historia.com/uhistoria/historia/articulos/liberty/liberty.htm>

²² <http://global.britannica.com/EBchecked/topic/233217/William-Francis-Gibbs>

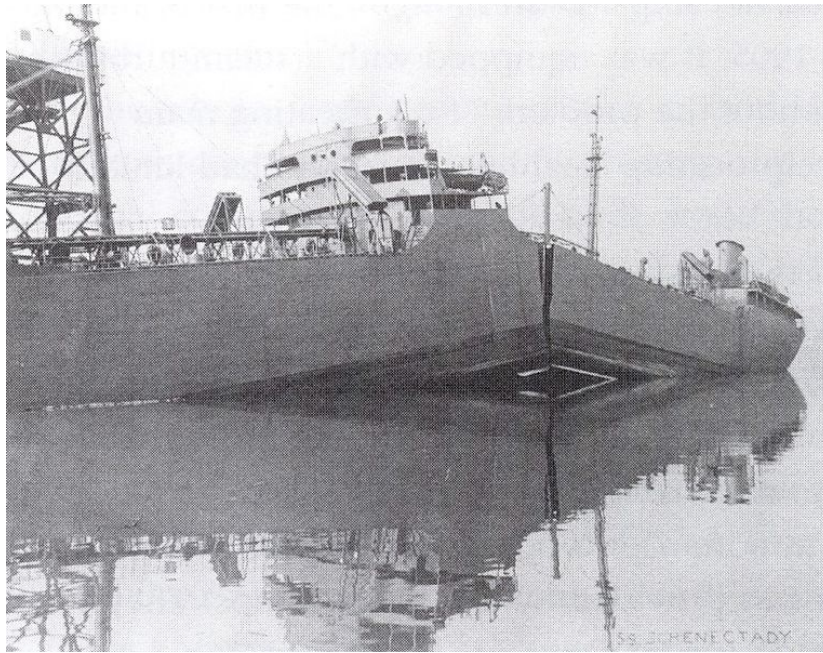


Ilustración 24. Fuente: http://matdl.org/failurecases/Other_Failure_Cases/liberty_ships



Ilustración 25. Fuente: <http://www.dioramanet.com/centroeu/uboote/19.htm>



Ilustración 26. Fuente: <http://www.u-historia.com/uhistoria/historia/articulos/liberty/liberty.htm>

Los buques de la clase Liberty tuvieron muchos problemas estructurales, de fatiga de materiales, etc.

Esta posibilidad de fabricar barcos en serie con un sistema similar a como se fabrican los coches en una fábrica se abandonó rápidamente debido al vertiginoso aumento en el tamaño de los buques y a la continua evolución en el diseño de los mismos, lo que hacía que salvo en algunos astilleros especializados el buque que se iba a comenzar en un astillero rara vez se parecía al anterior.

Sin embargo, la tendencia hacia la fabricación en serie se ha mantenido en el sentido de conseguir instaurar en el astillero actividades y procesos de fabricación repetitivos que puedan mantenerse de un producto intermedio a otro y de una construcción a otra.

La técnica clave en ese sentido ha sido la introducción de la tecnología de grupos. Según Casas Rodríguez (1992) “la doctrina productiva de la tecnología de grupos implica el establecimiento de puestos de trabajo fijos y bien definidos, para obtener productos intermedios similares y con un contenido de trabajo similar”. Además las estaciones de trabajo, deben estar sincronizadas entre sí.

La clave para que esta técnica funcione reside en que los procesos de trabajo estén muy bien definidos, y en que se identifiquen “una serie de familias de productos intermedios con atributos de diseño y fabricación similares (...)”²³.

Estos productos intermedios, con independencia de las diferencias de diseño, de las cantidades necesarias e incluso de su tamaño, se fabrican en líneas de producción especialmente dedicadas a ellos, es decir, en flujos de procesos. Así, cada flujo principal como, por ejemplo, el de fabricación de un bloque de casco, se apoya en otros flujos que le preceden, tales como la fabricación de sub-bloques²⁴.

El objetivo es que estos grupos de trabajo y flujos puedan mantenerse para la construcción de cualquier tipo de buque en ese astillero. Esto implica, a su vez, que esto se tenga en cuenta desde el primer momento de las negociaciones con el cliente, de tal forma que se consigan contratos de buques para los que se puedan emplear los grupos de trabajo ya instaurados en el astillero. Así, a través del aprendizaje la experiencia de los trabajadores en la construcción de un buque sirve para el siguiente, y así sucesivamente, por lo que esto puede conseguir mejoras extraordinarias en la productividad. “Ciertamente que no podemos olvidar que el mercado, o la oportunidad del mercado, puede exigir diversificar sin demasiada inercia. A esto pueden ayudar las actuales tendencias de la tecnología de grupos en cuanto a buscar productos repetitivos (...) ¡Cuántos patrimonios empresariales, cuántos activos inmateriales se han perdido por no valorar la experiencia ganada en una determinada línea de producto, sea de buques de pasaje, grandes cargueros a granel o buques de pesca ...”²⁵.

Por último, hay que decir que la tecnología clave para alcanzar el máximo aprovechamiento de las ventajas de la tecnología de grupos ha sido la aplicación de las herramientas estadísticas al control dimensional; ya que, una vez adecuadas las instalaciones para la realización de la mayor parte del acero en talleres especializados, y prefabricar lo máximo posible el armamento por grupos de

²³ Casas Rodríguez et al. (1992), p. 191

²⁴ Casas Rodríguez et al. (1992), p. 201

²⁵ Emilio Carnevali Rodríguez (1992), p.181

trabajo, poco más se podía hacer para conseguir mejoras apreciables de la productividad.

Sin embargo, el equilibrado del flujo de los productos intermedios entre unos talleres y otros hacen “absolutamente necesaria la implantación de un sistema de control para verificar las dimensiones con objeto de evitar reparaciones (descosidos de bloques, oxicorte de sobrantes, recrecidos, eliminación de distorsiones, etc.), es decir, eliminar los retrasos y reprocesado de los productos, con el consiguiente ahorro de costes”²⁶.

Como dice Casas Rodríguez (1992) esta es la tecnología de los años 90, la clave de la superioridad de los métodos japoneses, que en su momento introdujo una revolución en los sistemas de fabricación de barcos y ganancias extraordinarias en la productividad, pero esto suponía grandes inversiones en tecnología informática, en capital humano y en la creación de bases de datos que permitían la mejora creciente de la precisión de los distintos procesos.

Como resumen de todo lo explicado sobre las técnicas y sistemas de fabricación, se pueden identificar cuatro etapas históricas en la construcción naval, que coinciden con los cuatro niveles de desarrollo tecnológico de esta industria a lo largo del siglo XX:

Etapa 1.- Cuando los cascos se remachaban y todo el armamento se montaba a bordo tras la botadura (primer tercio del siglo XX).

Etapa 2.- Empleo de la soldadura, sistema de construcción del barco por bloques - partes prefabricadas- y comienzo del prearmamento (Desde los años 30 hasta los 60).

Etapa 3.- Empleo de la Tecnología de Grupos, organización de los flujos de trabajo y armamento por zonas (Desde los años 70 hasta los 80).

Etapa 4.- Técnicas estadísticas de control de producción y construcción integrada del casco con el armamento y la pintura (años 90).

²⁶ Casas Rodríguez et al. (1992), p. 201

Estas etapas son las que han ido alcanzando en cada época los astilleros más avanzados del mundo, que han sido, a lo largo del siglo XX los de Inglaterra (principios de siglo), Alemania (años 20 y 30), Estados Unidos (años 40), Japón (desde los 50 hasta los 90), habiendo también alcanzado desde esa época y hasta la actualidad un gran nivel tecnológico los astilleros de Corea del Sur. Por supuesto, muchos astilleros han ido incorporando estas tecnologías con retraso, hasta el punto de que hasta épocas muy recientes, por ejemplo en España, todavía se podían encontrar astilleros -sobre todo pequeños- con el nivel tecnológico correspondiente a la segunda etapa descrita o, incluso, más atrasados"²⁷.

2.3.3.- Innovación en los modelos de gestión

Hasta ahora se ha tratado en la presente investigación el tema de las innovaciones en las tecnologías y sistemas de fabricación de buques utilizados en los astilleros.

Todas estas innovaciones han supuesto en su momento una revolución en la concepción de la industria de construcción naval con respecto a la concepción tradicional, y su consecuencia visible ha sido por una parte la fabricación de productos impensables hace cien años y por otra una mejora asombrosa en la productividad de su construcción.

Sin embargo, hay que recordar que lo anterior también ha sido posible en gran medida, gracias a la innovación en los modelos de gestión y organización de los procesos llevados a cabo en astilleros y demás empresas de construcción naval. De hecho, podría decirse que la innovación en la gestión de estas empresas ha sido la tecnología protagonista en los últimos 30 años del siglo XX.

La organización científica del trabajo, cuya implantación se generalizó en los sectores punteros de la industria desde mediados del siglo XX, en los astilleros no se asentó realmente hasta algunos años más tarde, de la mano de los astilleros japoneses, que han sido los grandes innovadores en este campo.

No obstante, los iniciadores de los modernos sistemas de organización fueron los norteamericanos que, durante la Segunda Guerra Mundial, acuciados por las

²⁷ Casas Rodríguez et al. (1992), p. 187

necesidades de incrementar su flota de buques, revolucionaron los obsoletos sistemas de fabricación y organización de los trabajos en su país.

Sin embargo, una vez acabada la guerra, los astilleros de Estados Unidos siguieron dedicándose casi exclusivamente a la construcción naval militar, debido a la gran demanda de buques que el gobierno estadounidense les había garantizado durante la guerra e incrementado posteriormente durante la época de la “Guerra Fría”.

Los astilleros estadounidenses abandonaron por tanto el mercado de buques mercantes; mientras que los japoneses decidieron meterse de lleno en este mercado aprovechando, precisamente, los sistemas de fabricación y organización de la producción ideados por los estadounidenses durante la guerra.

En 1952 el armador norteamericano National Bulkcarrier (NBC) alquilaba al gobierno japonés la base naval de Kure para acometer la construcción de una serie de bulkcarriers según los procedimientos de construcción de buques desarrollados durante la guerra. Apenas transcurrida una década los astilleros japoneses, aplicando estos mismos métodos de trabajo, llevaban a su país al primer puesto en el ranking mundial de constructores.

Desde entonces, Japón no ha abandonado el liderazgo mundial en innovación en lo que se refiere a procesos de fabricación y montaje, métodos productivos y organización de la producción, aunque es cierto que desde hace años y hasta la actualidad compartido con otros países asiáticos como Corea.

En su momento los astilleros japoneses comprendieron las ventajas del modelo productivo y organizativo norteamericano, y lo aplicaron con una enorme eficiencia en la construcción naval mercante.

Las tecnologías descritas anteriormente fueron, por regla general, introducidas por los astilleros japoneses y copiadas posteriormente por el resto de los países. El sistema de construcción por bloques y módulos lo fueron mejorando progresivamente, y orientando todas las actividades de la empresa -contratación, diseño, planificación, control, aprovisionamiento, fabricación, organización del trabajo, disposición de la planta, etc. hacia la producción con el objetivo de

maximizar la productividad y la calidad, reducir los plazos, y como consecuencia minimizar los costes.

Los japoneses no sólo revolucionaron los sistemas de construcción, sino que gracias a sus técnicas y métodos rompieron el mercado internacional alcanzando en veinte años el 50% del mercado mundial de la construcción naval.

Los constructores occidentales, hasta entonces orientados a un mercado tradicional dominado por ellos, con unos sistemas de fabricación y de gestión también tradicionales, y con una dirección preocupada fundamentalmente por los aspectos técnicos, se vieron obligados a preocuparse esencialmente por las ganancias en productividad y disminución de costes. La tarea directiva se convirtió, de manera radical, en la función clave para el éxito del nuevo sistema de construcción y para la supervivencia de la empresa en un sector ya global y con una creciente competitividad internacional.

De manera general se puede decir que la dirección de las empresas occidentales de construcción naval pasó de una preocupación esencial por los aspectos técnicos (“hacer el buque”) a una preocupación fundamental por los aspectos comerciales - producto, calidad, precio-, con todo lo que ello lleva consigo; es decir, responder a la política comercial con la adopción de unos procesos productivos optimizados en coste, plazo y calidad.

Dadas las características de las empresas de construcción naval antes descritas - planta fija y gran número de operarios, con poca flexibilidad y gran importancia de los costes fijos y, a la vez, gran dependencia de los “gustos” y requisitos del armador-, la gran tarea de la dirección se convirtió en conseguir combinar la orientación al mercado con las características constructivas de la planta.

La solución adoptada fue la orientación de la acción comercial a la producción, es decir, tratar de negociar con el cliente un producto que satisficiera sus necesidades y, a la vez se adecuara a las capacidades de producción del astillero. De esta forma se podía vender mejor el producto, cumpliendo los plazos de entrega y con el ahorro que suponía la aplicación de los conocimientos acumulados en las

construcciones anteriores. Para conseguir este objetivo fue clave la introducción de la tecnología de grupos de trabajo, antes descrita, que trataba de aproximar la construcción naval individualizada a la producción en serie.

Para conseguir la orientación de todas las actividades de la empresa a la producción y al mercado, las iniciativas fundamentales sobre las que debía de asentarse el proceso de transformación que debían de acometer las empresas de construcción naval eran los siguientes:²⁸

- a) La gestión de los objetivos. Preocupándose, por un lado, de la gestión de los resultados a partir de técnicas de medición del avance de obra; y, por otro, de una adecuada planificación, a partir, por ejemplo, de la instauración del Cuadro de Mando de la Dirección.
- b) Promoción del cambio. Es decir, la dirección del astillero, a la vez que se preocupa de adaptar los contratos a las características del astillero, ha de preocuparse de innovar constantemente para preparar de manera gradual a la compañía a las nuevas necesidades que vayan surgiendo dentro de su ámbito de producción, de tal forma que esté preparada técnicamente para reaccionar a las fluctuaciones del mercado.
- c) Formación, mantenimiento y motivación del equipo humano. El liderazgo y la organización del equipo humano ha de ocupar una parte importantísima de las tareas de dirección. Hoy en día está ampliamente reconocido que la motivación a los trabajadores puede ser tan importante o más para la productividad de la empresa que la introducción de una nueva tecnología como por ejemplo un nuevo método de soldadura o un proceso robotizado. Una parte importante para conseguir la motivación a los trabajadores en los astilleros es a través de la formación continua de los mismos, de tal forma que vayan aprendiendo técnicas nuevas y puedan ir mejorando su nivel de preparación a lo largo de su vida laboral.
- d) Organización del trabajo. Junto con los aspectos de liderazgo y cercanía a los trabajadores, es necesaria una nueva organización de los trabajos en los

²⁸ Emilio Carnevali Rodríguez (1992), p.176

astilleros. El inicio de la industria moderna de construcción naval a mediados del siglo XIX, al pasar de la fabricación tradicional de barcos de madera a la construcción de vapores de hierro y acero, supuso un cambio brusco en la organización de los trabajos del astillero, ya que se hacía necesario dominar otras técnicas hasta entonces desconocidas para los técnicos de fabricación de buques.

Sin embargo, el sistema de producción en serie de grandes cantidades de un mismo producto, que es la esencia de la revolución industrial, no se introdujo realmente en los astilleros, por la propia naturaleza del producto y por la situación del mercado de barcos, en el que había pocos productores capaces de satisfacer la demanda y, por tanto, no existía competencia como en otros sectores. De esta forma, se puede decir que las innovaciones del siglo XIX llevaron a los astilleros a adquirir la técnica necesaria para aplicarlas a la construcción de barcos, pero la concepción tradicional del astillero como fábrica de barcos no cambió mucho hasta bien entrado el siglo XX.

Los nuevos oficios de la época necesarios para construir un barco (herrereros, remachadores, calafateadores, soldadores, etc.), una vez asimilados por la factoría formaron sus gremios y sus sistemas de organización y fabricación, que han ido adaptando con el tiempo a los nuevos conocimientos que iban surgiendo. Como explica José Luis López Pérez, la estructura y organización de los astilleros de los años 70 seguía siendo la misma que hacía un siglo:

“Si examinamos las estructuras de los astilleros actuales²⁹ nos encontramos que, en la mayoría de los casos, su organización gremial es la misma que existía hace un siglo; si comprobamos su organigrama, veremos que también aquí existe una casi total semejanza con el de los astilleros del siglo XIX”³⁰

Frente a la tradicional organización gremial se impone la dirección por proyectos en equipos de trabajo. En la organización tradicional el

²⁹ La cita se refiere a principios de los años 70

³⁰ López Pérez (1971), p. 66

organigrama era algo sagrado e insalvable. Pues bien, una gran innovación es conseguir que no prime el organigrama, sino los objetivos del programa de construcción: “Piense el equipo directivo en los objetivos de conseguir, las estrategias a diseñar, los proyectos conjuntos de mejora e innovación. Medítese también en el desarrollo de las funciones necesarias, las funciones de línea, de staff. Vuélvase una y otra vez sobre la naturaleza del proceso de Construcción Naval, sobre los condicionantes y exigencias del momento. Explórense nuevos enfoques organizativos”³¹, ... y aplíquense los que mejor cuadren con los objetivos marcados. «Y después de todo ello (quédense tranquilos los ordenancistas), proclámese el organigrama del astillero, con sus relaciones jerárquicas y funcionales. Pero no antes»³²

2.4.- EVOLUCIÓN DE LAS TÉCNICAS Y SISTEMAS DE CONSTRUCCIÓN NAVAL EN ESPAÑA

2.4.1.- Introducción

En 1980 España llegó a convertirse en el segundo país del mundo “en términos de tonelaje mercante en construcción”³³. A lo largo del siglo XX había ido aumentando su participación en este mercado, aunque, realmente, fue en los años 60 y 70 cuando se produjo el despegue de esta industria. De hecho, aquella época -junto con la década de los 90- ha sido probablemente la que los astilleros españoles se han acercado más a los niveles tecnológicos de los países más avanzados, habiendo gozado de un prestigio internacional en la construcción de barcos de calidad. Pero el camino hasta aquella situación no estuvo exento de dificultades. Uno de los principales retos que tuvo que afrontar la industria española fue seguir el ritmo de innovación tecnológica que se estaba produciendo en el exterior. Este sector -como tantos otros- fue siempre por detrás de otros países en la adopción de los métodos más modernos de fabricación de barcos. Además, la escasa capacidad tecnológica mostrada por la industria auxiliar hizo que nuestros astilleros tuvieran que

³¹ Emilio Carnevali Rodríguez (1992), p.184

³² Emilio Carnevali Rodríguez (1992), p.185

³³ Blenkey, N (1981), p. 89

depender constantemente de la importación de equipos y tecnología extranjeros. Por todo ello, este sector ha mostrado a lo largo del siglo XX un atraso endémico con respecto a los países más avanzados. Un repaso rápido a los orígenes y evolución de la construcción naval moderna en España puede servir para comprobar esta afirmación.

Los primeros astilleros modernos que surgieron en España (Talleres López Dóriga, Astillero de Veá-Murguía, Matagorda, Astilleros del Nervión, Euskalduna, etc.) fueron creados a finales del siglo XIX y principios del XX, cuando en otros países llevaban ya muchos años funcionando. Es cierto que los arsenales del Estado de La Carraca (en San Fernando, Cádiz), Cartagena y Ferrol fueron construidos a principios del siglo XVIII, sin embargo, nunca adoptaron los métodos modernos de construcción naval hasta que en 1908 fueron cedidos en régimen de concesión a la Sociedad Española de Construcción Naval, en la que participaba la empresa Vickers inglesa, que aportó la tecnología y los métodos de organización del trabajo más modernos de la época. Los primeros vapores mercantes de acero construidos en España comenzaron a fabricarse a partir de 1880, varias décadas después que en Inglaterra o en Alemania.

Las empresas de construcción naval españolas se fueron consolidando a lo largo del primer tercio del siglo XX gracias a las leyes de protección a la industria nacional de la época, junto con una fuerte dependencia de la tecnología extranjera, bien a través de la participación y apoyo técnico directos de compañías extranjeras en los astilleros nacionales -como Vickers en La Naval de Sestao, o Krupp en la Unión Naval de Levante, bien a través de la imprescindible importación de maquinaria extranjera, debido al escaso desarrollo de la industria auxiliar española. No obstante, la tendencia del primer tercio de siglo, como sucedió también después de la guerra civil, fue hacia el fomento de la industria nacional y hacia la disminución de la dependencia tecnológica del exterior. Pero esto, realmente, nunca se consiguió, pues la protección no fue acompañada de un plan de inversión en I+D+i que hubiera permitido la creación de tecnología nacional.

La protección llevó justamente a lo contrario: la disminución de inversión en tecnología propia y el mantenimiento de la dependencia del exterior; y esto, junto con un creciente aislamiento de las corrientes innovadoras que estaban sucediendo en otros países, tuvo como consecuencia que la industria de construcción naval nacional -como tantas otras- se fuese quedando rezagada en su nivel tecnológico con respecto al exterior. Demostrativo de este hecho es el declive en el número y en la proporción de patentes de construcción naval concedidas en España a lo largo del primer tercio del siglo XX.

Así, por ejemplo, la adopción de la soldadura eléctrica no estuvo consolidada en España hasta los años cincuenta en los astilleros más avanzados, y hasta los sesenta en los más rezagados, mientras que en Alemania ya estaba generalizada en los años 30 y en otros países se afianzó durante los 40. El atraso español en el uso de esta tecnología que, como hemos explicado, fue la clave de la revolución en los sistemas de construcción naval acaecida a partir de los años 30, se pone de manifiesto en una serie de artículos que la revista Ingeniería Naval comenzó a publicar en los años cuarenta con la idea de concienciar a los astilleros españoles sobre la importancia de esta técnica. En el primero de ellos, publicado en Agosto de 1942 con el título “La soldadura en construcción naval y la necesidad de su adopción en España”, se decía:

“Desgraciadamente pocos trabajos han sido efectuados en España hasta el presente para aclimatar la soldadura eléctrica como medio rutinario de construcción, habiéndose empleado solamente en casos aislados y en partes muy especiales. Pero, como decimos, no ha existido nunca en ningún astillero español un plan metódico de implantación de la soldadura como medio constructivo”.

Es cierto que la soldadura eléctrica se venía utilizando desde hacía unos años en la fabricación de maquinaria naval en los astilleros nacionales -que fueron instalando talleres de construcción de motores, pero no se había empleado en la construcción del casco de los buques, que era donde esta tecnología era verdaderamente complicada. Además, la soldadura eléctrica se utilizaba en la fabricación de motores

porque las compañías españolas no tenían otro remedio, ya que en la mayoría de los casos construían máquinas extranjeras bajo licencia, por lo que los astilleros debían trabajar sobre los planos recibidos de las compañías extranjeras que, cada vez más, iban exigiendo la utilización de la soldadura.

Así, por ejemplo, en los años cuarenta se estaban construyendo en España “buen número de equipos de máquinas de vapor y turbinas de exhaustación sistema Bauer & Bach con embragues hidráulicos Vulcan, en cuyas piezas principales se usa en gran escala la soldadura eléctrica”³⁴. Pero, como hemos dicho, el gran atraso de los astilleros españoles en el uso de la soldadura eléctrica estaba en su uso para la construcción del casco, donde no se empleaba debido a que habitualmente eran de diseño nacional, actividad en la que existía un gran atraso:

“Así como en la maquinaria debe emplearse [la soldadura eléctrica] afortiori, porque se especifica en los planos de los aparatos recibidos del extranjero, los proyectos de los cascos son generalmente originales y, por lo tanto, son concebidos según las normas rutinarias del remachado, razón por la cual se precisa romper este círculo vicioso en la inercia de la construcción naval por el punto más asequible a todo progreso, es decir, por las Salas de Delineación”³⁵.

La adopción en España de la soldadura eléctrica en la fabricación del casco fue un proceso lento y penoso que no llegó a generalizarse hasta los años cincuenta y sesenta. La guerra civil había paralizado las actividades de construcción naval y, una vez acabada la contienda, la política industrial autárquica se agudizó, por lo que el proceso de adopción de las técnicas modernas extranjeras se hizo más complicado. A esto había que unir las fuertes restricciones de materiales imprescindibles para la construcción naval. A finales de los años cuarenta la construcción naval española estaba desembocando en la fase en que “la soldadura se extiende a ciertas partes

³⁴ Ingeniería Naval, nº 86, agosto de 1942, p. 404

³⁵ Ingeniería Naval, nº 86, agosto de 1942, p. 404-405

estructurales de importancia (...) como mamparos (...), pudiendo denominarse esta fase, con bastante exactitud, como aquella del buque soldado y remachado”³⁶.

Los astilleros españoles que primero desembocaron en esta fase fueron las factorías militares -los antiguos arsenales del Estado- y, entre ellas la primera fue la de Cartagena³⁷. El resto de astilleros nacionales fueron poco a poco entrando en esta fase, y ya avanzados los años cincuenta fueron introduciéndose en la tercera época, que era la del buque totalmente soldado, en la que, por ejemplo, los astilleros estadounidenses habían entrado definitivamente a principios de los años cuarenta.

La tardía generalización de la soldadura eléctrica está en relación estrecha con el retraso en la adopción del sistema de bloques en los astilleros españoles, ya que, como hemos explicado antes, este sistema se desarrolló en gran medida unido a la soldadura.

No obstante, este sistema de construcción también puede utilizarse en la construcción remachada y, de hecho, en España comenzó a utilizarse a gran escala con esta técnica, y no con la soldadura, en los años 30: “La prefabricación de grandes elementos remachados de un buque (...) se empezó a emplear en gran escala en 1932 en los astilleros de Matagorda, con motivo de la construcción de buques petroleros que tan bien se adaptan al empleo de este sistema”³⁸.

Precisamente en esa época se estaba generalizando en Alemania la fabricación por bloques soldados, sistema que no llegaría a España hasta los años cincuenta, cuando comenzó a generalizarse la soldadura eléctrica.

Al principio de los años cuarenta la construcción de partes prefabricadas (bloques) remachadas estaba ya bastante generalizada en España, sin embargo, la prefabricación de bloques soldados estaba en sus inicios. Fueron también las factorías militares las pioneras en el uso de estos métodos:

Entre los casos que pueden llamarse precursores de la implantación en España del sistema de prefabricación de partes soldadas en construcción

³⁶ Villanueva Núñez, A. (1947). Ingeniería Naval nº 146, agosto de 1947, p. 503

³⁷ Villanueva Núñez, A. (1947). Ingeniería Naval nº 146, agosto de 1947, p. 503

³⁸ Beigdeber Atienza, F. (1943). Ingeniería Naval nº 97, julio de 1943, p. 403

naval, debe citarse el de la superestructura de los minadores tipo «Eolo», construidos en la Factoría de Ferrol, del Consejo Ordenador de las Construcciones Navales Militares sobre los años 1938, 1939 y 1940 ³⁹.

En 1943 la factoría más avanzada en la aplicación de este método era la Factoría de Cartagena, que estaba construyendo la pontona de una cabria especialmente proyectada para el fondeo de bloques de hormigón con un peso hasta de 35 toneladas⁴⁰, en la que todo el casco estaba soldado cien por cien.

Otra de las factorías en las que por esta época se empleaba la soldadura en una escala bastante apreciable era el Astillero de Barreras, en Vigo, “en la construcción de cascos de pesqueros standard”⁴¹.

Pero, como antes se indicó, el sistema de bloques soldados para la prefabricación del casco no comenzó su verdadera generalización en España hasta bien entrados los años cincuenta, y desde entonces se desarrolló lentamente, aunque lo hizo más rápidamente en los astilleros grandes que en los medianos y pequeños.

La introducción del método de prefabricación que sustituyó el remachado por la soldadura se aceleró en los astilleros más avanzados entre 1954 y 1959, lo que les supuso una duplicación de la productividad en ese quinquenio. Sin embargo hacia 1959 la productividad de las factorías españolas equivalía “aún sólo a los dos tercios de la de los países más avanzados (...) En términos generales, la productividad española de 1959 era igual que la alemana de hace cinco años”⁴². Esto se debía al menor nivel tecnológico, pero también a las dificultades de suministro de materiales impuestas por el régimen autárquico.

A partir de 1959 se pudo acelerar el ritmo de innovación tecnológica en la construcción naval española, aunque nuestra industria siguió atrasada con respecto al exterior. Los astilleros medianos y pequeños fueron los menos innovadores, hasta el punto de que en 1990 habían alcanzado la fase de utilización de la soldadura y el sistema de construcción del casco por bloques, pero algunos todavía no los habían

³⁹ Ingeniería Naval nº 146, mayo de 1943, p. 320

⁴⁰ Ingeniería Naval nº 146, mayo de 1943, p. 322

⁴¹ Ingeniería Naval nº 146, mayo de 1943, p. 326

⁴² Vega Sanz, R. y Beltrán Flórez, L. (1959), p. 484

incorporado totalmente, y tan sólo una minoría estaba iniciando el paso hacia la siguiente fase: la del armamento por zonas⁴³.

Precisamente hacia 1990 los astilleros grandes ya habían alcanzado en gran medida la fase del armamento por zonas, y estaban iniciando el paso hacia la construcción integrada del casco con el armamento y la pintura, que implica el uso de las técnicas estadísticas de control de producción⁴⁴. En la segunda mitad del siglo XX, a pesar de los esfuerzos realizados por la construcción naval española, la adopción de los nuevos sistemas y técnicas de construcción siempre ha ido al menos una década por detrás de los países asiáticos, sobre todo Japón y Corea, que, como hemos explicado antes, han sido pioneros en muchos de ellos.

2.4.2.- La modernización organizativa de los astilleros en España

Las innovaciones en la organización de la producción introducidas por los norteamericanos durante la II Guerra Mundial y desarrolladas extraordinariamente por los japoneses a partir de 1952, se han ido introduciendo muy lentamente en España. Hasta los años cincuenta y sesenta la organización de los astilleros españoles fue la tradicional: “En la mayoría de los astilleros los aprovisionamientos, con el apoyo sin duda de la oficina técnica, eran de la responsabilidad de un pequeño equipo encabezado por un oficial administrativo. En organización se avanzaba en los sistemas de métodos, tiempos y movimientos según las teorías y sistemas de Taylor. La producción se controlaba con la sola ayuda de la contabilidad convencional”⁴⁵.

La liberalización económica de los años 60, juntos con la generalización de los modernos métodos de fabricación y la apertura de los mercados exteriores “permitieron plantear plazos y volúmenes de producción que exigían a su vez cambios profundos organizativos, tales como el desarrollo de los servicios de aprovisionamiento, control de materiales, comienzo de los sistemas de planificación, etc. (...) Las inversiones en planta se adaptaron a estas nuevas

⁴³ Casas Rodríguez et al. (1992), p. 187

⁴⁴ Casas Rodríguez et al. (1992), p. 187

⁴⁵ Emilio Carnevali Rodríguez (1992), p.176

exigencias. Las políticas de personal, aún condicionadas por las circunstancias sociales y políticas del momento, se abrían a nuevos enfoques y perspectivas”⁴⁶.

El proceso de apertura y liberalización de la economía española coincidió con una etapa de gran desarrollo de la construcción naval en todo el mundo por el cierre del Canal de Suez y el gran desarrollo del tamaño de los buques. Por aquellos años comenzó a ser muy notoria la fuerte irrupción de Japón en el mercado de construcción naval. Este país, con sus nuevos sistemas de fabricación y de organización, estaba alcanzando unos niveles altísimos en tecnología y productividad. A mediados de los 60 los constructores navales europeos comenzaron a hacer reestructuraciones en sus empresas –construcción de astilleros de nueva planta para grandes buques, fusiones de empresas junto con reducciones de plantilla, etc.- con la idea de poder acercarse a los niveles de productividad de las compañías niponas, que se estaban llevando una gran parte del mercado.

Cuando estalló la crisis de 1973 se redujo drásticamente la demanda de buques petroleros y entonces todos los astilleros advirtieron la necesidad de hacer fuertes reducciones de capacidad productiva y drásticas reconversiones industriales.

La prolongada duración de la crisis en el sector naval -que tocó fondo en 1987 como recordamos muchos de nosotros que vivíamos en esa época en ciudades donde predominaba el sector naval sobre otros sectores industriales- ha hecho inútiles las reconversiones iniciadas en 1973 para muchos astilleros europeos, que han ido cerrando sus instalaciones en los últimos años; sin embargo, las inversiones que realizaron a mediados de los años 60 con la construcción de modernos astilleros pudieron amortizarlas en gran medida antes de la llegada de la crisis, y afrontar ésta con una situación financiera desahogada.

Pero esto no sucedió en España ya que por un lado, el inicio de la reconversión del sector -iniciada por los astilleros occidentales y japoneses a finales de los 60 y, sobre todo, tras la crisis del 73-, en España no se produjo hasta 1984; y, por otro, las grandes inversiones en nuevas instalaciones para afrontar el boom de construcción de grandes petroleros de los años 60, se realizaron en España demasiado tarde, por

⁴⁶ Emilio Carnevali Rodríguez (1992), p.176

lo que no hubo tiempo para amortizar tan grandes inversiones. El ejemplo más claro de este hecho fue el de la construcción del nuevo astillero de Puerto Real de AESA⁴⁷. El retraso en estas decisiones, que en gran medida fueron políticas, fue uno de los factores que contribuyeron a agravar la crisis del sector naval en España desde 1975 hasta 1987, año en que comenzó a percibirse cierta recuperación. Durante estos años el sector naval español sufrió un retroceso en su nivel técnico y organizativo con respecto al de los países más avanzados, debido al equivocado enfoque de la reconversión realizada entre 1984 y 1988, que incidió mucho en los aspectos de reducción de plantilla y muy poco en los de renovación tecnológica y organizativa. La supervivencia del sector en España -y en Europa- hasta nuestros días ha sido en gran medida posible gracias a la política de subvenciones por parte del Estado y de la CEE.

En los años 90, ante la progresiva disminución de las ayudas públicas a la construcción naval, la única vía de supervivencia para el sector en España está siendo la renovación tecnológica y organizativa. Aunque esto ha supuesto el cierre de algunas factorías, las que sobreviven están haciendo unos esfuerzos innovadores sin precedentes en la historia del sector en España.

2.5.- EVOLUCIÓN EN LOS SISTEMAS DE CONSTRUCCIÓN Y DISEÑO DE LA PRODUCCIÓN

La creación de AESA en Diciembre de 1969 fue impulsada por el Gobierno como una estrategia de mejora de la competitividad de la industria española de construcción naval. Los ejes de esta estrategia eran:

- a) la concentración empresarial, lo que permitiría especializar cada factoría en un determinado tipo de actividades, evitar la duplicidad de esfuerzos, etc.
- b) la creación de un gran astillero moderno capaz de producir los buques de gran tamaño que entonces se estaban demandando en el mercado.

Este proceso lo había iniciado Japón en los años cincuenta y los países más avanzados de Europa en los sesenta. En Japón, el aumento del tamaño de las

⁴⁷ Astilleros Españoles, S.A.

empresas y de los diques de construcción naval fue acompañado de una constante renovación tecnológica y organizativa.

En España, en cambio, la creación de AESA fue sobre todo una acción de crecimiento de tamaño y de capacidad de fabricación, en la que se puso poco énfasis en la introducción de nuevos sistemas de construcción y organización. Y esto a pesar de que entre los fines fundacionales de la empresa se consideró prioritario el esfuerzo por la innovación tecnológica. Las palabras del presidente del INI, Julio Calleja, al dirigirse al presidente de la nueva empresa el día de la constitución de AESA, el 1 de diciembre de 1969, son muy significativas:

“Yo me permitiría ahora darle una consigna: que dedique una atención especialísima a reforzar el nivel técnico de Astilleros Españoles, objetivo primordial en cualquier empresa, pero muy especialmente en ésta, que debe desarrollar gran parte de sus actividades en el duro mercado de la competencia internacional”⁴⁸.

Es cierto que durante los primeros años de vida de AESA este objetivo estuvo presente, como muestra el hecho de la importancia dada en las Memorias de la empresa al capítulo de investigación y tecnología. Pero las graves dificultades por las que la empresa comenzó a atravesar tras la crisis del petróleo -sobre todo a partir de 1976- llevaron a los gestores de la compañía a mostrar una mayor atención a los aspectos más inmediatos, descuidando los de medio y largo plazo, entre los que se encuentran los tecnológicos.

2.5.1.- El esfuerzo tecnológico de los astilleros españoles

La gran apuesta tecnológica de AESA en estos años fue la construcción del nuevo astillero de Puerto Real que se inició y terminó muy tarde debido en parte, a las disputas internas sobre la conveniencia o no de construirlo.

Triunfó la opinión favorable a la construcción del astillero, y en 1972 se iniciaron las obras. La orientación en la construcción del Nuevo Astillero de la Bahía de Cádiz (NABAC) fue esencialmente técnica y, de hecho, el dique construido alcanzó una

⁴⁸ Ingeniería Naval diciembre de 1969, p. 536

gran perfección. Pero los criterios económicos brillaron por su ausencia: fue una obra enormemente costosa en recursos y en tiempo; y cuando hacia 1976 terminaron las obras, la crisis del sector era ya tan profunda, que las posibilidades de amortización de esta inversión eran nulas.

A pesar de esto, en lo que propiamente se refiere a aspectos relacionados con la investigación y la innovación tecnológica de la empresa, estos primeros años fueron de notable dinamismo. Hubo una preocupación real por generar tecnología propia, y por estar a la cabeza de la industria española en aspectos como las tecnologías anticontaminación o la incorporación de la informática en la gestión y la producción. Los esfuerzos en investigación se tradujeron en el diseño de numerosos prototipos de buques y en la generación de unas cuantas patentes propias, aspecto este último, al que hasta entonces se había dedicado poca atención en las empresas españolas. Así, las investigaciones llevadas a cabo por la Dirección Técnica de AESA en el campo de la hidrodinámica tuvieron un primer resultado visible en la obtención en 1973 de una patente por un «Procedimiento para la realización de ensayos de cavitación»⁴⁹. A la vez, la empresa inició en este año un ambicioso programa de investigación a gran escala “en los campos de cálculo y optimización de estructuras, hidrodinámica y vibraciones en el buque”⁵⁰. En 1975 se desarrollaron dos nuevas patentes relativas a las formas especiales de los cuerpos de popa de los buques, para conseguir un alto rendimiento propulsivo y un bajo nivel de vibraciones. También se estudió otra nueva patente sobre una innovación en el proyecto de propulsores que permitía “aumentar en un 4% aproximadamente el rendimiento de las hélices convencionales”.

A la vez, se impulsó en estos años la investigación propia en el sector siderúrgico y en el de motores. Dos fueron las principales investigaciones que afectaron a la factoría de Reinos: a) el desarrollo de la “Automatización de una acería de hornos eléctricos de arco por medio de ordenador” y b) la “Fabricación de carcasas para turbinas de vapor y piezas para grupos nucleares en acero moldeado”. En la factoría

⁴⁹ Memoria de AESA de 1973

⁵⁰ Memoria de AESA de 1973

de Manises se impulsó una investigación dirigida a proyectar y construir un servomotor tórico de 200 t x m.

AESA también destacó desde su inicio por la investigación en el campo de la protección del medioambiente, introduciendo en su momento en España nuevas técnicas relacionadas con este problema, entre las que se puede citar el incinerador para tratamiento de basuras AESA-Combustall⁵¹ tipo 200, con capacidad de 100 Kg./h., fabricado por la Factoría de Villaverde, que fue exhibido en 1970 en la Feria Internacional de Muestras de Barcelona.

Pero por lo que más destacó AESA en este aspecto durante sus primeros años fue por la creación en 1973 de una compañía filial llamada Aplicaciones Técnicas Industriales, S.A. (ATEINSA) dedicada a la fabricación de equipos e instalaciones anticontaminación.

Esta sociedad utilizó las instalaciones de la factoría de Villaverde (Madrid) y fue constituida por un capital de 150 millones de pesetas , del que el 55% fue aportado por AESA, el 15% por la sociedad norteamericana Combustion Engineering y el 30% restante, a partes iguales, por el Banco Hispano Americano, el Banco Urquijo y el Grupo del Banco de Bilbao. ATEINSA era la primera firma de su clase en España y, aunque continuó fabricando la maquinaria y componentes navales de la antigua factoría de Villaverde, se dedicó especialmente a la fabricación y comercialización de aparatos, sistemas y plantas para la protección del medioambiente. La compañía Combustion Engineering actuó además de como socio capitalista, como un importante socio tecnológico, ya que era «una de las primeras del mundo en la fabricación de equipos anticontaminación, producción de vapor por métodos convencionales y plantas nucleares.

En el campo de la gestión, AESA también fue pionera dentro de la industria española en la introducción de nuevas tecnologías y en septiembre de 1972 entraba en funcionamiento el nuevo centro de cálculo de la empresa con la puesta en servicio de un ordenador IBM modelo 370/155 instalado en Madrid. Se suprimieron

⁵¹ Houpt, Stefan y Ortiz-Villajos, José M. (dir.) (1998): Astilleros Españoles, 1872-1998: La construcción naval en España, Madrid: LID Editorial, 531 páginas, ISBN: 84-88717-14-8.

todos los ordenadores que funcionaban en las factorías y éstas quedaron conectadas telefónicamente por terminales al ordenador central. Este sistema, que fue muy avanzado en su época, permitía tres grandes avances:⁵²

- a) El funcionamiento con teleproceso a tiempo compartido poniendo a disposición de cada factoría un centro de cálculo con capacidad suficiente para la resolución de cualquier problema técnico, administrativo o de gestión
- b) la posibilidad del tratamiento integrado de la información facilitando la implantación de los programas generales administrativos y de control de gestión adecuados a la complejidad de la Sociedad
- c) la posibilidad de abordar la realización de ambiciosas aplicaciones técnicas tales como el conjunto de programas propios A.N.A. (Arquitectura Naval Automatizada) que, a punto de terminarse, hará posible la construcción de los cascos de los buques mediante control numérico)

Este centro se dedicaba, por consiguiente, tanto a aspectos técnicos de diseño y fabricación -como el cálculo de la geometría del buque-, como de gestión o control contable o presupuestario. Así, en 1973 el Centro de Cálculo colaboró intensamente con la Factoría de Reinoso en la implantación de un control de almacén y seguimiento de pedidos, y, al mismo tiempo, se puso en servicio una aplicación acerca de control y riesgo bancario de gran utilidad.

A pesar del indudable esfuerzo y avance tecnológico que supusieron todas estas innovaciones, no fueron suficientes para evitar la pérdida de competitividad de la empresa a partir de mediados de los años 70. La clave de esto estuvo en la lentitud con que se reaccionó ante la crisis del 73, ya que la preocupación por los aspectos técnicos de la producción parecía haber hecho perder de vista que eran tanto o más importantes los aspectos de organización, gestión y comercialización.

2.5.2.- La evolución tecnológica de los astilleros españoles después de la reconversión naval

⁵² Memoria de AESA de 1973

Una vez terminada la reconversión de las empresas de la División de Construcción Naval, en 1987 se inició un verdadero proceso de renovación tecnológica en los astilleros públicos, retomando con nuevo impulso lo que era uno de los fines fundacionales prioritarios de AESA. La primera gran medida hacia la renovación tecnológica y competitiva fue la creación de la marca Astilleros Españoles en 1987, que no fue una simple medida de marketing, sino un primer paso imprescindible para iniciar la renovación del grupo, que necesitaba, por un lado, la entrada en el mercado libre internacional, donde era difícil vender la imagen de la División de Construcción Naval; y, por otro, la creación de un grupo compacto internamente.

Desde entonces, todas las empresas de la División de Construcción Naval -entre las que se encontraban AESA, ASTANO, Barreras y las empresas filiales de AESA- comenzaron a actuar en el mercado bajo la marca referida. Se iniciaba un difícil camino, pues hasta entonces no se había acometido la tarea de conseguir una verdadera coordinación de políticas entre las empresas de la División de Construcción Naval.

La estrategia de comunicación de Astilleros Españoles, tanto comercial como corporativa, supuso una notable innovación dentro del mundo de la construcción naval. En este marco, Astilleros Españoles inició un nuevo estilo publicitario, rompiendo los modos tradicionales que habían imperado dentro de este sector. Un ejemplo de esto es que el grupo español propuso al Lloyd's List -el periódico sobre construcción naval con más difusión en todo el mundo, tradicionalmente editado sólo en blanco y negro- que incluyera páginas en color, pues a Astilleros Españoles le interesaba publicar sus anuncios en color. Los editores tardaron un tiempo en contestar, pero al final aceptaron la propuesta, y desde entonces muchas otras empresas siguieron el mismo camino en su publicidad.

Pero a la vez que se iniciaba la renovación de la empresa con el cambio de la imagen corporativa, había que conseguir lo más difícil: crear un verdadero grupo de empresas y llegar a ser competitivos en el mercado internacional. Era necesario que los astilleros del Grupo se dotaran “de los medios financieros, organizativos,

tecnológicos y de gestión necesarios para ser homologados como de clase mundial (world-class)”⁵³.

Durante la gran crisis de la construcción naval mundial, que en 1987 comenzaba una firme recuperación, Japón y Corea habían demostrado que con la aplicación de unos adecuados sistemas tecnológicos y de gestión era posible “mantener una tasa elevada y continuada de mejora de la productividad (...) a pesar de las condiciones adversas del mercado y la recesión económica mundial”⁵⁴. Este era el camino hacia la supervivencia de Astilleros Españoles, teniendo en cuenta, además, que tras la entrada de España en la CEE, habían de someterse a la política comunitaria de progresiva reducción de ayudas públicas directas a la construcción naval. Por tanto, el único camino viable era crear lo más rápidamente posible un nuevo modelo industrial basado “en la implantación y perfeccionamiento de nuevos sistemas tecnológicos de fabricación, diseño y planificación para equiparar nuestra productividad a las de la competencia”⁵⁵.

Así, entre 1988 y 1990 se diseñó un ambicioso Plan de Actuación Industrial, que constaba de tres partes claramente diferenciadas:

- a) un Plan de Salud Laboral (PSL)
- b) un Plan de Mejora de la Gestión (PMG), y
- c) un Plan Integral de Mejoras Tecnológicas (PIMET).

Aunque los tres planes estaban relacionados, el que directamente hacía referencia a los aspectos tecnológicos era el tercero (Plan Integral de Mejoras Tecnológicas (PIMET)), que estaba dirigido a implantar un nuevo modelo industrial de organización del diseño y la producción.

2.5.3.- El Plan Integral de Mejoras Tecnológicas en Astilleros Españoles

⁵³ SARABIA ALVAREZ-UDE, Antonio y José Carlos FERNANDEZ VAZQUEZ (1992): "La renovación tecnológica de Astilleros Españoles, 1990-1992", en Ingeniería Naval, noviembre de 1992, Nº 688, pp. 532-533.

⁵⁴ Sarabia, A y Fernández, J.C. (1992), p.532

⁵⁵ Sarabia, A y Fernández, J.C. (1992), p.532

Puede decirse que el PIMET fue la materialización de la estrategia de renovación tecnológica del Grupo Astilleros Españoles. El primer paso hacia la implantación de esta estrategia, había sido la creación de la Dirección de Desarrollo Tecnológico (DDT), a la se le encomendó la tarea de diseñar la estrategia de renovación tecnológica de la empresa. La DDT acabó convirtiéndose en un verdadero departamento de I+D+i del Grupo AESA.

El PIMET se presentó en mayo de 1990, pero había sido precedido por casi dos años de trabajo para su elaboración; en ella habían participado tanto la DDT como las Oficinas Técnicas de los dos principales astilleros de la DCN: el de Sestao y el de Puerto Real.

Los trabajos desarrollados consistieron en un estudio profundo de estos dos astilleros con la idea de diagnosticar exactamente la situación de la tecnología en ambos. Parte fundamental de este trabajo fue la comparación de la productividad de estas dos factorías con la del astillero japonés de Koyagi⁵⁶, el más moderno de Mitsubishi⁵⁷. La conclusión más importante de este estudio fue que los mayores niveles de productividad del astillero japonés no estaban sólo motivados por sus más modernos sistemas de fabricación –que no eran imputables a las instalaciones o a la mentalidad de los trabajadores-, sino también, y principalmente, por unos “sistemas de organización y gestión notablemente diferentes”⁵⁸ de los de Puerto Real o Sestao. La siguiente fase fue la elaboración definitiva de las líneas de actuación específicas para instaurar en Puerto Real y Sestao un nuevo modelo industrial que incluyera las tecnologías más modernas en los procesos productivos y en los sistemas de diseño, planificación y control⁵⁹,⁶⁰

⁵⁶ <https://www.mhi-global.com/company/aboutmhi/organization/nagasakiw/index.html>

⁵⁷ Sarabia, A y Fernández, J.C. (1992), p.533

⁵⁸ Sarabia, A y Fernández, J.C. (1992), p.533

⁵⁹ En esta fase se acudió a los estudios de una sociedad estatal norteamericana creada en el marco de un programa estatal de investigación (National Shipbuilding Research Program, <http://www.nsrp.org/>) que había analizado en profundidad el sistema de construcción naval japonés a finales de los setenta y principios de los ochenta, y adaptado para poder ser aplicado en astilleros occidentales. Este Programa se había creado a impulso del Estado y en colaboración con la Universidad de Michigan y la de Washington, entre otras, como consecuencia de la profunda crisis del sector naval estadounidense al tener que cambiar de orientación: de un mercado militar, a uno comercial. A través de estos estudios se tuvo acceso a una descripción sistemática de los sistemas de organización de los astilleros de I.H.I., que durante años han liderado el desarrollo tecnológico en la industria naval japonesa.

Según señala Antonio Sarabia, el PIMET establecía cinco líneas de actuación:

- 1) Progresar en la integración del diseño y la producción, a partir de un sistema de comunicación muy estrecha entre los departamentos técnicos y los de producción que garantizara “la fabricabilidad de los diseños y el desarrollo de instrucciones de trabajo adecuadas a la organización de los talleres”
- 2) Integrar la construcción del casco, el armamento y la pintura.
- 3) Organizar la planificación y el control «de acuerdo a los productos intermedios de fabricación y la organización por líneas de proceso, implicando y coordinando a todas las fuentes afectadas: diseño, compras y producción»
- 4) Fomentar la mejora continua de los sistemas de fabricación a través de la implantación de sistemas de control dimensional estadístico y el desarrollo de la organización de ingeniería de producción.

Con estas cuatro líneas de actuación se perseguía la racionalización de las tres etapas de la ingeniería de la construcción naval previas a la etapa de producción:

- a) la etapa inicial de diseño o proyecto de la construcción
- b) la del establecimiento de las partes o zonas del buque
- c) la etapa de ingeniería de producción, que es la que se encarga de estructurar los plazos y establecer los modos y tiempos de ensamblaje y conexión de las diferentes partes del buque.

Las dos primeras ya se habían iniciado antes de 1987, pero la tercera no estaba ni organizada en 1988, y es la que fundamentalmente trató de impulsarse y aplicarse en las distintas factorías. La ingeniería de producción debe estar presente en todas las etapas del proceso de construcción naval desde el diseño del contrato, pues de esa manera todos los problemas previsibles se irán solucionando antes del comienzo de la fabricación, y no a medida que se van

⁶⁰ CHIRILLO, L.D. and R.D. CHIRILLO (1985): "The History of Modern Shipbuilding Methods: The U.S.-Japan Interchange", in Journal of Ship Production, Vol. 1, No. 1, Feb. 1985, pp. 1-6. (<http://www.nsrp.org/>)

presentando durante el proceso de producción, lo que ha sido tradicionalmente una de las causas principales de los retrasos en la construcción. El tiempo de fabricación se reduce y las ganancias en productividad y eficacia son muy importantes.

- 5) Todo ello acompañado de un nuevo sistema de organización del trabajo basado en la formación de equipos de trabajo de un número reducido de personas «que toman a su cargo las tareas incluidas en un paquete de trabajo y las ejecutan poniendo especial énfasis en el cumplimiento de los plazos de entregas establecidos».

Cada grupo de trabajo elabora un producto a partir de otro ya elaborado previamente por otro equipo. Para lograr la máxima eficiencia de este sistema, es muy importante que cada producto esté totalmente acabado antes de pasar a la siguiente fase de elaboración. El buen funcionamiento del sistema exige un fuerte esfuerzo coordinador y de retroalimentación para detectar los errores y desviaciones en el mismo momento en que se producen.

La implantación práctica de estas políticas se hizo a través del Programa de Actuación para los Astilleros Públicos (PAAP) entre 1990 y 1992. En la primera mitad de 1990 cada astillero definió su situación tecnológica y elaboró un plan de proyectos que debían desarrollarse en cada uno entre 1990 y 1992 para la aplicación real del PIMET, y con el objetivo de duplicar su productividad entre 1990 y 1995.

El Programa previó una inversión de más de 77 millones de euros de la época y tres tipos de actuaciones:

- a) Actuaciones horizontales, dirigidas al desarrollo de sistemas de fabricación innovadores y el desarrollo real de la tecnología de construcción por zonas y etapas
- b) Actuaciones de choque, dirigidas al equipamiento y reorganización de los talleres, introducción de nuevas tecnologías y la capacitación de los trabajadores
- c) Actuaciones de reposición de equipos e instalaciones.

2.5.4.- Hacia una nueva cultura de gestión en Astilleros Españoles

El PIMET puso de manifiesto el notable atraso tecnológico de Astilleros Españoles y, en general, del sector de construcción naval en España. Muchas de las modernas formas de gestión empresarial, que llevaban años aplicándose en muchos otros sectores y empresas, no se habían aplicado nunca en la construcción naval española hasta bien entrados los años 80. El lastre de viejos usos y costumbres ha sido uno de los principales obstáculos para la modernización del sector en España. En Astilleros Españoles, desde la Dirección de Desarrollo Tecnológico y a partir de la implantación del PIMET, se impulsó como paso previo a otras posibles innovaciones, la modernización de la cultura organizativa y de funcionamiento de la empresa. Desde finales de los 80 hubo en este sentido cambios profundos en las empresas de la antigua División de Construcción Naval.

Poco a poco se fueron adquiriendo los aspectos de cultura de empresa racional y eficiente, en busca de la rentabilidad; y, de hecho, se realizaron avances muy notables, en parte debido a la gran exigencia que requerían los proyectos de construcción en marcha, en su gran mayoría de clientes extranjeros.

Se puede decir que hasta mediados de los años 80, la preocupación básica de las empresas del Grupo AESA era “fabricar el buque” y el problema de la competitividad y de la productividad no había sido el fundamental. Otro problema era la falta de una cultura moderna de autoridad dentro de la empresa. Así como, por ejemplo, en los astilleros japoneses los gestores y directivos han dado una gran importancia a la autoridad profesional y "moral" dentro de la empresa, en-España ha habido tradicionalmente cierta desconexión entre jefes y obreros. De esta forma, aunque en muchas ocasiones ha habido cambios -de personas, etc.- en los puestos altos, la desconexión con la fabricación siempre ha estado presente y, por tanto, no se han producido cambios reales dentro de la empresa.

La estructura de gremios ha sido la forma tradicional de organización del trabajo en los astilleros. Esta forma de organización del trabajo hace que las estructuras informales de autoridad -que funcionan en todas las empresas- sean especialmente

importantes en un astillero. En los últimos años esto ha ido cambiando muy poco a poco, pero en cierta medida todavía hoy sigue estando presente. Así en Astilleros Españoles una de las reformas de gestión que se impulsó en los últimos años fue concienciar a los directivos de la necesidad de que, al tomar decisiones que afecten a la organización del trabajo y de la producción, conozcan y tengan en cuenta estas estructuras informales para conseguir los fines perseguidos; y, a la vez, se esfuercen en conseguir una comunicación fluida y directa entre ellos y los trabajadores.

Otro de los cambios de mentalidad que se habían impulsado desde finales de los años 80 en Astilleros Españoles había sido el de convencer a los directivos de las factorías de que una buena gestión y organización del trabajo es más importante que la automatización de los procesos en un astillero.

Este cambio de mentalidad se apoyaba en dos ideas:

- a) Un astillero que no haya robotizado los procesos de fabricación de bloques o de módulos de armamento, puede llegar a ser más productivo que otro que haya robotizado muchos de estos procesos⁶¹
- b) en todo caso, antes de automatizar cualquier proceso, es imprescindible plantearse si vale la pena, dado el mercado del astillero y la productividad que se va a obtener en las actividades de mecanización. En esta línea, una de las luchas planteadas desde la Dirección de Desarrollo Tecnológico de Astilleros Españoles, fue convencer a las factorías de que primero modernizasen sus sistemas de gestión y su cultura empresarial, antes de plantearse una inversión en mecanización, pues las mayores ganancias en productividad de un astillero muchas veces se consiguen con cambios en la organización o de costumbres. Esto no significa que por sistema haya de desecharse la mecanización de los procesos. Por ejemplo, Fincantieri⁶² (la antigua empresa pública italiana de construcción naval que actualmente sigue controlada por el estado italiano a un 81%) mecanizó en esta época mucho sus procesos de fabricación; pero también hay que tener en cuenta

⁶¹ Esto se debe en parte a la gran diversidad de componentes y productos intermedios fabricados, en cuanto a tamaño, formas, materiales, etc.

⁶² <https://www.fincantieri.it/>

que se trataba de una empresa que era líder mundial en la fabricación de cruceros y que, por tanto, la gran demanda que tenía de barcos similares le compensaba absolutamente la automatización.

El PIMET⁶³ no planteó grandes inversiones en capital fijo, porque antes fue necesario realizar un cambio profundo en la cultura empresarial. Quizá una de las más importantes inversiones de los últimos años de AESA fue la dirigida a implantar los sistemas informáticos para el diseño -sistemas CAD/CAM/CAE, que se comenzaron a utilizar en Astilleros Españoles a partir de 1987.

2.6.- LEAN MANUFACTURING EN ESPAÑA

No cabe duda de que en España la aplicación de Lean Manufacturing no es un fenómeno nuevo. Sin embargo, a día de hoy no se tiene la certeza hasta qué punto es conocida esta filosofía de gestión de procesos y las técnicas que de ella derivan, ni cuál es su grado de asimilación e implantación en las empresas españolas.

La primera referencia encontrada sobre Lean Manufacturing en España⁶⁴ es la del grupo belga Bekaert a través de su Unidad de Consultoría Bekaert Stanwick y de la empresa UBISA, como socios fundadores, que constituyeron en octubre de 1991 Bekaert Consulting con sede en Bilbao, para ofrecer servicios de consultoría en el mercado español. Al año siguiente, en 1992 UBISA, empresa industrial del grupo Bekaert, recibió el premio EFQM de Excelencia, en la primera convocatoria de este Premio Europeo.

Una vez revisada la bibliografía disponible en nuestro país se ha comprobado que en los últimos años se han realizado varios estudios⁶⁵, ⁶⁶ sobre su implantación en España, con objeto de profundizar en la situación general de Lean Manufacturing en

⁶³ Plan Integral de Mejoras Tecnológicas

⁶⁴ Fuente: www.asenta.es

⁶⁵ Teresa Sánchez, Andrés Palacios, Bernardo Prida. “Conocimiento, aplicación y resultados de las técnicas de Lean manufacturing en las empresas españolas”. II International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management, XII Congreso de Ingeniería de Organización, September 3-5, 2008, Burgos, Spain.

⁶⁶ Hernández Matías, JC y Vizán Idoipe, A. Lean manufacturing. Conceptos, técnicas e implantación. Grupo Ingeniería de Fabricación de la Universidad Politécnica de Madrid. © Fundación EOI, 2013.

nuestro país y de obtener una visión detallada sobre aquellos aspectos que tienen más interés para las empresas españolas.

Estos estudios, en la mayoría de los casos se han delimitado a sectores productivos específicos con tradición en el mundo Lean como puede ser el del automóvil incluidos sus proveedores o incluso el de cerámica, pero apenas existen algunas pocas referencias al sector de la construcción naval y mucho menos en astilleros.

Según los autores del primer informe (referencia nº 64) los resultados obtenidos tampoco son muy representativos debido al bajo grado de respuesta de las encuestas realizadas. Sin embargo para los autores del segundo análisis (referencia nº 65) realizado unos años más tarde estas sí lo son, quizás debido a la tipología de empresas incluidas en la muestra o a un mayor conocimiento ya de este modelo de gestión.

El primer objetivo que se planteó en el segundo de los estudios anteriormente citados es conocer el grado de implantación de Lean por sectores, tamaño y grado de internacionalización de las empresas. En segundo lugar y para empresas con experiencia Lean, profundizar en los aspectos que pueden resultar clave como los beneficios obtenidos, factores de éxito de la implantación, uso de las técnicas de mejora, resultados en el área de recursos humanos y principales obstáculos identificados para el éxito de la implantación. En tercer lugar y para el caso de empresas sin experiencia Lean, conocer las razones por las que no se ha abordado su implantación y su grado de interés en las distintas técnicas *lean*. Por último, recabar la opinión de los profesionales sobre su visión de la situación general del Lean Manufacturing en España.

En general⁶⁷, no se han detectado diferencias significativas entre los distintos sectores representados en el estudio. El principal resultado es que en algunos sectores (Alimentación y bebidas; Automoción, Construcción Naval, Aeronáutica y Ferroviario; Industria Química, Farmacia, Droguería; Informática, Electrónica y Telecomunicaciones) se observa un mayor grado de implantación y consolidación

⁶⁷ Hernández Matías, JC y Vizán Idoipe, A. Lean manufacturing. Conceptos, técnicas e implantación. Grupo Ingeniería de Fabricación de la Universidad Politécnica de Madrid. © Fundación EOI, 2013.

de las herramientas Lean que en otros sectores estudiados (Maquinaria y equipo mecánico; Electrodomésticos, Electricidad y material eléctrico; Fabricación de productos minerales no metálicos).

El estudio realizado recoge un número de respuestas de la población encuestada elevado y significativamente más alto, que los realizados hasta ahora en España, por lo que se considera que los resultados obtenidos son bastante representativos de la situación actual de la industria española.

Las conclusiones más reseñables de este estudio se pueden concretar en las siguientes⁶⁸:

1. Actualmente las técnicas Lean empiezan a extenderse y están siendo ya aplicadas en la mayoría de los sectores industriales, como lo confirman el 73% de los encuestados, que indican que en su sector ya están siendo utilizadas.
2. Las empresas estudiadas que no han abordado la implantación se prevén, en un 84%, la aplicación este tipo de técnicas en un futuro próximo.
3. La implantación de las técnicas Lean y sobre todo de la cultura Lean, permite obtener unas mejoras muy significativas en aspectos como la productividad, los costes, la flexibilidad y la participación del personal. La coincidencia de las respuestas en este aspecto es muy elevada, ya que más del 80% de los encuestados en cuyas empresas se han aplicado, encuentra que los beneficios obtenidos han sido altos.

Estas experiencias y la manifestación de los encuestados, muestran claramente que las técnicas Lean son imprescindible para mejorar la competitividad de sus empresas.

4. Los tres beneficios más importantes que se derivan de la aplicación de las técnicas Lean son el aumento de la productividad, el incremento de la flexibilidad y la reducción de costes. Esto no excluye que otros beneficios igualmente importantes se obtengan en un elevado grado.

⁶⁸ Hernández Matías, JC y Vizán Idoipe, A. “Lean manufacturing. Conceptos, técnicas e implantación”. Pag. 135. Grupo Ingeniería de Fabricación de la UPM. © Fundación EOI, 2013.

5. Los encuestados consideran que para alcanzar una adecuada implantación Lean en la empresa es muy importante contar con la motivación y el apoyo de la alta dirección.

En general se considera que este apoyo es muy escaso, lo que unido a otros factores negativos como la resistencia al cambio, la falta de liderazgo en los proyectos Lean y la formación del personal, hacen que el factor humano se convierta en un aspecto clave para el éxito de las implantaciones.

6. Los recursos económicos necesarios para la implantación de las técnicas Lean y la complejidad de estas técnicas, representan factores poco significativos para su introducción en la empresa. Esto sugiere que en empresas donde todavía no se ha utilizado ninguna técnica Lean, posiblemente adolezcan de una falta de conocimiento de lo que realmente supone la aplicación de las técnicas Lean.
7. Las principales técnicas relacionadas con la producción Lean implantadas son: 5S, SMED, sistemas de indicadores, estandarización y fábrica visual. Se trata por lo tanto, de las técnicas más genuinamente *lean* y de aplicación general a cualquier sector. Por otra parte son las técnicas que presentan menos dificultades de aplicación y los beneficios a obtener son más inmediatos.

A modo de resumen puede mencionarse que:

1. Las técnicas Lean se están utilizando en España en todos los sectores industriales.
2. La mayor parte de las empresas que no están aplicando las técnicas Lean esperan hacerlo en un futuro inmediato.
3. La aplicación de las técnicas proporciona un alto nivel de beneficios en muchos aspectos de la empresa.
4. Los beneficios más claramente obtenidos de la utilización de técnicas Lean son el aumento de la productividad, de la flexibilidad y la reducción de costes.
5. El apoyo de la dirección en la introducción de las técnicas Lean es escaso.

6. Las direcciones de las empresas desconocen las técnicas Lean.
7. El factor humano es clave para la implantación de las técnicas Lean.
8. La mitad de las empresas han contado con ayuda externa para la incorporación de las técnicas Lean.
9. La aplicación de la filosofía Lean es necesaria para mejorar la productividad de las empresas.
10. La disponibilidad de recursos económicos no representa un problema significativo.

2.6.1.- Lean manufacturing en la construcción naval española

Hemos visto en el apartado anterior que la primera referencia encontrada en la literatura sobre un galardón entregado a una empresa española por la mejora continua en la gestión integral de sus procesos, entregado en este caso por la fundación EFQM se corresponde a Industrias del Ubierna, UBISA, en el año 1992⁶⁹.

Esta referencia puede encontrarse también en el Primer Informe de la Excelencia en España⁷⁰ emitido por el CLUB GESTIÓN DE CALIDAD Y MODELO EFQM (EFQM) en el año 2003, que es desde su fundación en 1991 es la organización que representa en exclusiva en España a la EFQM.

Según este modelo de gestión, una organización excelente implica no sólo unos buenos resultados económicos y operativos, sino también tener clientes internos y externos satisfechos y una buena imagen en la Comunidad.

En este mismo informe (referencia 58) puede observarse también la primera referencia o reconocimiento externo a la mejora continua en la gestión integral de sus procesos de un astillero español, en este caso de IZAR Astillero FENE, anteriormente ASTANO (Grupo Astilleros Españoles).

El 30 de noviembre de 2001 IZAR Astillero FENE recibe oficialmente el “Sello de Excelencia Europea +350” a la mejora continua integral de sus procesos, convirtiéndose en una de las primeras empresas españolas y en el primer astillero

⁶⁹ www.asenta.es

⁷⁰ CLUB GESTIÓN DE CALIDAD Y MODELO EFQM (EFQM). “Primer Informe de la Excelencia en España”, 2003.

en someter su gestión empresarial a una evaluación con criterios universalmente aceptados.

Como continuación de lo anterior y en el año 2001 el Foro de la Excelencia de Galicia, que es una entidad creada para promover actuaciones de gestión excelente en las empresas de la Euro-región Galicia-Norte de Portugal, destaca el compromiso del Astillero Fene en la excelente gestión de sus recursos para obtener mejoras en sus procesos y en su aplicación de Sistemas de Gestión normalizados en Calidad y Seguridad.

Este reconocimiento se materializa en la "Mención de Honor en el Área de Procesos", dentro de la categoría de "Gran Empresa", que el Foro de la Excelencia otorga al Astillero Fene (antigua ASTANO), durante la VIII edición del premio "Soluziona" a la excelencia empresarial.

Realmente ese es el segundo año consecutivo que el Astillero Fene recibe una Mención de Honor del Foro de la Excelencia, tras lograr la Mención de Honor en el Área de Liderazgo dentro de la categoría de Gran Empresa, el año anterior en la VII edición del premio "Soluziona".

Con este premio, el Jurado reconoce que la Dirección del Astillero Fene "demuestra su compromiso con la calidad, involucrándose y consiguiendo que el personal participe en actividades de mejora continua, poniendo en práctica la cultura y los valores necesarios para el éxito a largo plazo, mediante comportamientos y acciones alineadas con la excelencia y la innovación".

Las primeras referencias contrastadas localizadas sobre la implantación en un astillero español de algunas técnicas de Lean Manufacturing encontradas como tal son de Navantia en los años 2007 en su astillero de Cartagena, 2008 en su astillero de Puerto Real y en el 2009 en su astillero de Fene-Ferrol.

Estas implantaciones Lean se hacían en base a objetivos genéricos aunque tenían un ámbito de actuación local, generalmente relacionadas con las mejoras de los puestos de trabajo tanto en oficinas como en talleres, mejoras en la disponibilidad y eficiencia de las máquinas y las instalaciones así como en la reducción del tiempo de

permanencia de un producto desde que entraba en un taller como materia prima hasta que salía del mismo bien como un producto elaborado o bien como un producto intermedio disponible para el montaje o para un proceso posterior de fabricación.

En el mismo año 2007 también se ha encontrado una referencia⁷¹ correspondiente a una ponencia presentada por Dr. Joaquín Membrado Martínez, Presidente de Estrategia y Dirección en el 46 Congreso de Ingeniería Naval y Oceánica celebrado en Sevilla y titulado “Metodologías avanzadas para la competitividad: Cuadro de Mando Integral, Seis Sigma, Lean. Aplicación a la industria auxiliar de la Construcción Naval”

En esta ponencia se hace referencia a que la transformación Lean de las empresa auxiliares de la construcción naval permitirá eliminar los defectos, sobreproducción, inventarios excesivos, operaciones y tareas innecesarias, movimientos de personas no necesarios, transportes de materiales y esperas.

2.6.2.- La colaboración tecnológica con compañías japonesas

La primera referencia documentada encontrada sobre el acercamiento de algún astillero español a las técnicas derivadas del sistema de producción de Toyota que con el paso del tiempo daría lugar al modelo *lean* manufacturing es a través de la colaboración con astilleros japoneses a principios de los años 90.

En 1991 se dio un nuevo impulso al proceso de renovación tecnológica a través de unos acuerdos de colaboración directa con astilleros japoneses⁷²:

- El astillero de Sestao firmó un acuerdo con Maritech Engineering Japan Co., Ltd., según Antonio Sarabia “una empresa de tecnología de construcción naval respaldada por IHI⁷³” para que cooperara con el astillero en la

⁷¹ Membrado Martínez, J. Metodologías avanzadas para la competitividad: Cuadro de Mando Integral, Seis Sigma, Lean. Aplicación a la industria auxiliar de la Construcción Naval”. Revista ingeniería naval nº 853, noviembre de 2007

⁷² SARABIA ALVAREZ-UDE, Antonio y José Carlos FERNANDEZ VAZQUEZ (1992): "La renovación tecnológica de Astilleros Españoles, 1990-1992", en Ingeniería Naval, noviembre de 1992, Nº 688, p 534

⁷³ <https://www.ihico.jp/en/>

reorganización de sus procesos productivos mediante el envío de técnicos altamente cualificados a Bilbao”.

- El astillero de Puerto Real, por su parte, inició un programa de cinco años en colaboración con el astillero de Kobe de Mitsubishi para la implantación y desarrollo de los sistemas de Control de Calidad Total (TQC)⁷⁴

Como en otras ocasiones, la idea de la Dirección de Desarrollo Tecnológico era la aplicación de estas innovaciones en los dos astilleros más importantes de la División de Construcción Naval para luego aplicar los resultados en el resto de las factorías del Grupo AESA.

Pero la colaboración tecnológica de Astilleros Españoles con las compañías japonesas no era algo nuevo, pues en 1985 se había iniciado ya un acuerdo con Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. (MHI) para la mejora de la productividad de las empresas del grupo. De hecho en 1987 se firmó un acuerdo más específico para que esta misma empresa asesorara a ASTANO⁷⁵ en la fabricación de productos offshore. En aquel entonces ASTANO se estaba introduciendo en este mercado forzado por las circunstancias de la entrada de España en la CEE, que hizo que esta empresa tuviera que dejar sus actividades de nuevas construcciones y dedicarse en exclusiva a este nuevo mercado. En aquella época la Eba Plant de Mitsubishi, que situada en Hiroshima, estaba abandonando la fabricación de plataformas petrolíferas, por lo que se ofreció a prestar todos sus conocimientos tecnológicos en este campo. Esta colaboración fue de gran utilidad para ASTANO que a partir de entonces alcanzó un notable prestigio internacional en el mercado Offshore.

En 1988 Astilleros Españoles firmó un acuerdo de colaboración global con MHI con el propósito de continuar con la colaboración iniciada entre las dos empresas en 1985. Estos acuerdos de colaboración general con MHI culminaron con la firma en 1991 de un acuerdo de colaboración centrado específicamente en el astillero de Puerto Real, que ha sido, sin duda, el que ha proporcionado una mayor cantidad y

⁷⁴ Control Total de la Calidad

⁷⁵ Astilleros y Talleres del Noroeste, situado en Ferrol.

calidad de tecnología japonesa a la empresa española, hoy en día integrada en Navantia.

Astilleros Españoles fue pionero en España y en Europa⁷⁶ en la búsqueda de colaboración con empresas japonesas de tecnología puntera. Estos acuerdos no sólo aportaron grandes beneficios a la compañía española, como ahora veremos, sino que también sirvieron a las compañías japonesas para conocer de cerca e introducirse en Europa. De hecho, las compañías japonesas, en especial IHI, tenían cierta “ilusión” en que los acuerdos de colaboración tecnológica firmados con Astilleros Españoles culminaran en una relación mucho más estrecha; en concreto, buscaban que la compañía española se convirtiera en su aliada en Europa, de tal forma que la compañía japonesa pudiera contratar buques que se pudieran fabricar en Sestao con la garantía técnica de IHI. Esta idea, finalmente no interesó al grupo español por cuestiones de estrategia empresarial. Así, la colaboración con compañías japonesas se interrumpió en 1995; pero, sin duda, el balance de diez años de colaboración ha sido extraordinariamente positivo para el grupo español, hoy integrado en Navantia.

2.6.3.- La actividad de los técnicos de Kobe en Puerto Real

El acuerdo firmado en marzo de 1991 entre Astilleros Españoles y MHI Marine Engineering, Ltd⁷⁷ tenía la finalidad de conseguir implantar en el astillero de Puerto Real los métodos de Total Quality Control (TQC) de la compañía japonesa, extendiéndolos después también a los astilleros de Sevilla y Cádiz.

El motivo de limitar el acuerdo a la implantación de estas técnicas era debido a que la baja productividad del astillero de Puerto Real no se debía a que sus técnicas y métodos de producción fueran anticuados, pues era el astillero más moderno de España, sino a la deficiencia de sus métodos de gestión y de funcionamiento en general.

⁷⁶ Cuando en 1985 AESA inició la colaboración con los japoneses, tan sólo los astilleros de Odense (Dinamarca) y Burmeister (Alemania) habían mantenido algún contacto con las compañías navales japonesas. Fuente: Houpt, Stefan y Ortiz-Villajos, José M. (dir.) (1998): Astilleros Españoles, 1872-1998: La construcción naval en España, Madrid: LID Editorial, 531 páginas, ISBN: 84-88717-14-8.

⁷⁷ Compañía subsidiaria en un 100% de Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. (MHI)

El acuerdo tenía dos partes:

- a) Adiestramiento de directivos, que consistía en que durante el primer año MHI permitiría la estancia -dos veces al año durante un periodo de dos semanas- en el astillero de Kobe de unos 10 directivos de Astilleros Españoles para que estos pudieran estudiar el sistema TQC de Mitsubishi.
- b) Instrucción de campo, que consistía en el desplazamiento a Puerto Real de 4 expertos de MHI en las técnicas de TQC dos veces al año durante un periodo de 1 mes. Este grupo de expertos tenía el objetivo de instruir y cooperar con los técnicos de Puerto Real para diseñar y poner en práctica un plan de mejora de la productividad basado en las técnicas de TQC.

Los 7 principios del TQC dan una idea de la filosofía de este método de gestión y funcionamiento de una factoría:

- 1) Gestión cuantitativa: Las decisiones deben basarse en datos y hechos comprobados, no en suposiciones ni de sensaciones.
- 2) Priorización (Gestión ABC): Los temas deben seleccionarse y tratarse según su importancia.
- 3) Eliminación de las tres Mu's⁷⁸: Muda (Trabajos innecesarios), Mura (Trabajos imposibles), Muri (Trabajos con desviaciones).
- 4) Comunicación a) En la toma de decisiones; b) Para la transmisión de las políticas; e) En el establecimiento de un Plan de Acción Anual; d) Para conseguir consenso.
- 5) Control horizontal-vertical (Warp- Woof): a) Warp: Control horizontal de la construcción del buque; b) Warf: Control vertical de la producción global.
- 6) El cliente es lo primero: a) el cliente (interno) es el siguiente proceso productivo; b) Si satisfacemos al cliente obtendremos al final buenos resultados.

⁷⁸ Mura: Consiste en una irregularidad en la carga de trabajo. Muri: Consiste en trabajar a un ritmo por encima de la capacidad nominal de la línea de producción, provoca ineficiencias por cansancio del personal, deterioros acelerados de máquinas o equipos, generalmente aumentan los defectos de calidad. Muda: Es utilizar recursos superiores a los mínimos requeridos (Tiempo, Materiales, Mano de obra, etc..).

- 7) Círculo P-D-C-A (Plan-Do-Check-Action): Apoyándose en los 5 porqués (5W) (What, When, Where, Who y Why) y 1H (How), aplicación reiterada del ciclo.

Realmente estos principios los habían tomado los japoneses de Estados Unidos en los años 50, y con el tiempo fueron perfeccionándolos y adaptándolos a las particularidades de una empresa de construcción naval; y en la actualidad son, de hecho, los mayores expertos mundiales en los sistemas de Calidad Total. Este era el sistema que los técnicos de MHI se propusieron implantar en Puerto Real. El trabajo fue lento, pues la factoría -como, en general todas las españolas- «hacía agua» en muchos de estos aspectos. Los técnicos japoneses llegaron en seguida a la conclusión de que el fallo fundamental de Puerto Real era la inexistencia de un sistema de gestión racionalizado. Una de sus primeras observaciones hacía referencia a la poca comunicación entre operarios y directivos encontrada en Puerto Real, así como a la falta de implicación de trabajadores y mandos con los objetivos de la empresa. Comenzaron por organizar el sistema de transmisión de información, para que la comunicación de arriba a abajo -transmisión de las directrices de la dirección- y de abajo a arriba -transmisión de las iniciativas y problemas que surgieran en la base- funcionara de manera fluida, ya que hasta el momento, la barrera que existía entre la gerencia y el astillero era tan notable, que ésta se había convertido en la causa principal del ineficiente funcionamiento de la factoría.

Se crearon más de 50 grupos de mejora entre los trabajadores de la factoría con el cometido de introducir las mejoras en sus respectivas áreas de trabajo. Se introdujo la gestión matricial (vertical-horizontal), por función y por proyecto, que trataba de poner en comunicación las tres actividades clave de una empresa de construcción naval -ingeniería, producción y aprovisionamiento- en cada una de las etapas y actividades de fabricación. Esta fue una aportación decisiva para el avance en el establecimiento del método TQC. Se introdujo también el sistema de reuniones periódicas para el control de la construcción en las que se utiliza como herramienta de gestión la lista de problemas, en la que se identifican éstos, señalándose el responsable que ha de encargarse de resolverlos y de hacer el seguimiento de cada

uno. También se puso énfasis en la priorización de los problemas -clasificándolos según tres tipos: A, B y C-, de tal forma que cada uno se resolviera en el nivel de responsabilidad correspondiente. Por otro lado, los instructores japoneses hicieron ver la importancia de cuidar los aspectos de limpieza y Los resultados del esfuerzo realizado entre 1991 y 1996 en la instauración de las técnicas TQC se materializaron en las ganancias de productividad que se consiguieron en la construcción de una serie de 11 suezmax construidos en Puerto Real a lo largo de aquellos años: se consiguió una mejora del 50%, tanto en la productividad como en el acortamiento de los plazos de entrega. Esta ganancia fue impresionante, teniendo en cuenta que el efecto-serie sobre la productividad en la fabricación de una serie de buques suele estar en torno al 8%.

También se comenzó a introducir durante estos años el sistema de control dimensional estadístico para estabilizar los procesos de producción, lo que permitió, por ejemplo, eliminar la utilización de sobrantes en el 100% de los bloques, de tal forma que en el montaje en dique no había que hacer ningún ajuste dimensional. El objetivo final del método TQC era introducir un proceso de mejora continua, como método más eficaz de gestión con la finalidad de reducir costes, estimulando a los propios trabajadores para que hicieran las propuestas de mejora que ellos consideraran convenientes en cada momento.

Junto con la experiencia y metodología propia del TQC, los técnicos japoneses transmitieron la idea clara de que no existen fórmulas mágicas, ni las había en los astilleros de su país. Según ellos, el buen funcionamiento de su astilleros era consecuencia en gran medida de la aplicación efectiva del sentido común". Otro punto clave era la importancia de que la dirección tuviera información de lo que realmente estaba sucediendo en el día a día de la empresa, pues se comprobó la escasa conexión que había entre los departamentos directivos y los de fabricación. En muchos casos los problemas venían porque los trabajadores no sabían cómo solucionar problemas concretos y, además, no podían solucionarlos porque los ingenieros no estaban el tiempo necesario en los talleres. Para solucionar este problema los técnicos japoneses propusieron lo que era una práctica común en los

astilleros de su país: la institucionalización de una "patrulla" de técnicos por la mañana y otra por la tarde que recorriera los talleres para comprobar los problemas que tenían los trabajadores y poder solucionarlos inmediatamente, y que ponía un especial énfasis en los aspectos de seguridad.

2.6.4.- La actividad de los técnicos de Maritech en Sestao

El astillero de Sestao, junto con el de Puerto Real, fue el principal punto de mira de las reformas tecnológicas iniciadas con el PIMET en 1990; y, como hemos explicado, al igual que el astillero gaditano, el vizcaíno suscribió en 1991 un acuerdo de colaboración tecnológica con la compañía japonesa Maritech Engineering Japan Co., Ltd., sociedad independiente respaldada por Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd. (IHI).

Sin embargo, el acuerdo de colaboración de Sestao tenía un enfoque bastante diferente del de Puerto Real, pues si en el astillero gaditano se insistió, sobre todo, en la mejora de las técnicas de gestión, en el bilbaíno el énfasis se puso en las técnicas de fabricación.

Inicialmente se firmó un acuerdo el 20 de Mayo de 1991 para que Maritech llevara a cabo una evaluación del proyecto de mejora de la productividad que se había puesto en marcha en Sestao a través del PIMET⁷⁹. Esta evaluación duró tan sólo 15 días; sin embargo, fue el inicio de una colaboración más estrecha y duradera, como en el caso de Puerto Real con MHI. Así, el 14 de Octubre de 1991 se firmó un acuerdo por dos años por el que Maritech se comprometía no sólo a evaluar sino sobre todo a ayudar a aplicar el proyecto de mejora de la productividad en Sestao. Para ello se siguió un sistema muy parecido al de Puerto Real, es decir Maritech envió una serie de consultores, encabezados por su presidente que acudían cada 4 meses al astillero de Sestao, donde permanecían durante 2 o 3 semanas completamente dedicados a su trabajo de formación y evaluación.

La base del sistema de mejora de la productividad perseguido por Maritech en Sestao fue la implantación de la técnica de control dimensional estadístico. Esta

⁷⁹ Plan Integral de Mejoras Tecnológicas

técnica es un método para controlar de manera exacta y efectiva la dimensión de las piezas fabricadas en los talleres del astillero con la idea de que el tamaño y forma de las piezas se ajusten al máximo al diseño inicial. Es, por tanto, esencial para conseguir una implantación eficaz del sistema de fabricación por zonas y etapas, que permite el diseño y la construcción integrada de armamento, casco y pintura. Para la implantación eficaz del sistema de control dimensional se necesita conseguir que los procedimientos de fabricación sean suficientemente estables. Los técnicos japoneses trataron de implantar esta técnica desde dos puntos de vista:

- a) A través de la revisión de la ingeniería: estandarizando el proyecto y sistematizando el método de trabajo. Con esto se consigue que la información dirigida a los departamentos de producción llegue lo más estandarizada posible, de tal forma que la variedad de trabajos realizados se reduzca al máximo. Por ejemplo, si en el proyecto sólo se diseñaran codos con tres tipos de ángulos (30° , 60° y 90°), esto simplificaría mucho el trabajo de la máquina de cortar tubos.
- b) A través de la introducción de una mentalidad de economía de recursos; es decir, en situación de recursos escasos, acometer primero las necesidades mayores.

Otra de las actividades llevadas a cabo en el seno de este acuerdo fue el inicio de la formación de los trabajadores de Sestao en las técnicas de conformado por calor: el sistema de líneas de calor (Line heating). Con esta técnica se consiguieron enormes mejoras en el proceso de curvado de las planchas de los bloques curvos, que es una de las partes más difíciles en la construcción del buque.

Los técnicos japoneses enseñaron la importancia de definir la estrategia constructiva desde el principio del diseño del proyecto del buque. Es decir, se trataba de establecer antes de empezar a fabricar el buque todos los aspectos prácticos para hacer más sencillo el trabajo en todas las etapas de construcción del barco: los pasos de hombre, las rutas de escape, etc. Esta idea, que llamó mucho la atención en España, ha sido de una enorme eficacia, pues permite prever en gran medida todos los problemas que puedan surgir durante la construcción del barco y,

de esta forma, acortar los plazos de entrega, aumentar la productividad, reducir el coste, disminuir los riesgos para los trabajadores, etc.

El presidente de Maritech insistió mucho en la importancia de la presencia del jefe en el sitio donde se llevan a cabo los trabajos que él dirige⁸⁰. Al igual que MHI en Puerto Real, Maritech también instauró en Sestao la costumbre de la patrulla diaria por el astillero del director de producción y del jefe de ingeniería de producción para atender los problemas que iban surgiendo cada día.

Otro de los aspectos que iniciaron los técnicos japoneses fue el de las técnicas de paletización, que es un sistema de control y organización de los materiales que prevé y prepara los materiales que en cada momento se van a necesitar en el montaje de los bloques de armamento.

La gran cantidad de conocimiento adquirido durante el período de colaboración tuvo un efecto directo sobre la mejora de la organización y las técnicas de fabricación tanto de Puerto Real como de Sestao, y con el tiempo estas mejoras se fueron extendiendo al resto de factorías del grupo. Esto no quiere decir que se hayan conseguido todos los objetivos previstos por los japoneses. Quizá la mayor dificultad para ello han sido las notables diferencias de cultura empresarial entre Astilleros Españoles y las compañías japonesas, así como las distintas estrategias empresariales de una compañía y otra.

2.7.- PROCESO GENERAL DE CONSTRUCCIÓN DE UN BUQUE

2.7.1.- Introducción

El modelo de construcción que se aplica en España desde hace ya 25 años, se denomina construcción integrada. Este modelo se caracteriza por definir, dividir y clasificar todas las tareas de producción del buque en zonas y etapas.

En líneas generales, esta metodología se fundamenta en:

⁸⁰ Nota del autor: Realmente se estaba refiriendo a que los responsables de las áreas debían estar en los lugares donde se aporta valor, en el caso de los talleres donde se transformaba la materia prima en producto elaborado o semielaborado o bien donde el producto intermedio iba ganando valor al incorporarle otros productos intermedios, piezas, componentes, etc. El lugar donde se aporta valor se conoce en japonés como GEMBA.

- El diseño está orientado al producto.
- La construcción está basada en zonas y etapas con alto grado de prearmamento, extensa aplicación de diferente tipología de módulos y finalización de trabajos por zonas.

2.7.2.- Proceso general de construcción de un buque

La construcción de un buque puede considerarse como una concatenación de procesos, a través de los cuales pasan los diferentes productos intermedios hasta la completa finalización de la construcción del buque.

Estos productos intermedios son unidades físicas a construir, resultantes de la subdivisión del buque y de sus sistemas en unidades cada vez menores. Estas unidades constituyen por sí mismas e independientemente del resto, un elemento claro y preciso a fabricar.

La sucesiva unión de productos intermedios (de rango inferior o superior) nos irá llevando hacia el producto final, es decir el buque.

Este modelo constructivo se recoge en la estrategia constructiva y se materializa a través de las órdenes de trabajo. En él se definen claramente varias etapas de construcción por las que pasan todos los productos intermedios durante la construcción hasta completar finalmente el buque.

A continuación y de una manera muy sucinta, se describen los principales procesos por los que pasa la construcción del buque:

- a) Elaboración de elementos y componentes en talleres. El primer proceso de la producción consiste en la fabricación de elementos simples en los talleres. La fabricación de elementos simples produce componentes para el buque que no pueden ser subdivididos en elementos de menor entidad.

Aunque pueden variar en función de las características y organización de la producción, los principales talleres que habitualmente forman parte directa del proceso de construcción de un buque en los diferentes astilleros son:

- Taller de elaboración y previas. En él se corta y da figura a las chapas y perfiles generalmente de acero y se prefabrican las previas

- Taller de fabricación de tubería. Se fabrican los tubos de los sistemas de tubería
- Taller de módulos. Encargado de la fabricación de los diferentes tipos de módulos definidos para cada buque
- Taller de habilitación, elabora conductos de ventilación, elementos de habilitación, etc. Este taller es típico de los astilleros dedicados a la construcción de buques militares
- Taller de electricidad y electrónica, elabora los diferentes elementos de los sistemas eléctricos y electrónicos
- Taller de monturas, elabora elementos de los sistemas mecánicos del buque
- Taller de pintores, coordina y lleva a cabo todas las labores de chorreado y pintado

b) Construcción de bloques. Es el segundo gran proceso de la producción e incluye:

- Prefabricación de bloques, unión y soldadura de las piezas simples de acero elaboradas en el proceso anterior
- Prearmamento de fase P1, el cual incluye la integración de todos los elementos elaborados que requieren soldadura en los bloques prefabricados. Por ejemplo, tubería, conductos de ventilación, soportes de equipos eléctrico, módulos de tuberías, etc.
- Chorreado y pintado de bloques, durante el cual tiene lugar la preparación de superficies y el pintado
- Prearmamento de fase P2, claramente definido porque el trabajo llevado a cabo no necesita ser soldado. Por ejemplo, montaje de equipos, tendido de cables, aislamiento, módulos de equipos, cabinas modulares de habilitación, etc.

c) Montaje de bloques en la grada de construcción. El tercer proceso de producción es el montaje de bloques en la grada con alto contenido de prearmamento. Los bloques se montan en la grada y se forman las zonas de armamento del buque. Se definen para este momento la instalación de los

equipos propulsores (turbina de gas, motor propulsor, engranaje reductor), tendido de cables principales, acabo de sistemas y locales, etc.

- d) Botadura y varada. Son dos hitos importantes dentro del proceso de producción. El primero es la consecuencia de la finalización del montaje en grada de todos los bloques que forman el casco del buque y el segundo está definido a continuación del primero.
- e) Trabajos a bordo del buque. El cuarto y último macroproceso de producción es el armamento a flote por zonas. Se definen, principalmente, para este nivel el montaje de los equipos del sistema de combate en el caso de un buque de guerra y la realización de las pruebas HAT y SAT.

La finalización de los procesos anteriormente descritos dará lugar al buque terminado, con lo que el buque está listo para su entrega al cliente.

Ahora vamos a desarrollar con más detalle para su mejor comprensión el proceso de construcción de un buque.

1. Ingeniería de Producción

Para la correcta realización de todos los procesos anteriormente descritos en calidad, coste y plazo es necesaria el área de ingeniería de producción. En esta área se realiza desde la definición y difusión de la estrategia constructiva, hasta la preparación de los trabajos, así como el lanzamiento y control a los distintos centros de producción de toda la documentación necesaria para la realización de los mismos.

La definición de la estrategia constructiva va a permitir desde los primeros momentos, planificar la forma de diseñar y construir el buque. Se realiza con antelación al proyecto de construcción y, por tanto, a los trabajos de construcción, por lo que se ha de trabajar muchas veces con información preliminar y poco desarrollada.

Para la realización de la estrategia constructiva los principales documentos que se toman como base son:

- Especificación del buque, utilizadas para conocer las características generales del buque (dimensiones, tripulación, maquinaria, características eléctricas, sistemas de comunicaciones, etc.).
- Requisitos generales, de la construcción, de la estructura del casco, de la maquinaria, de la planta eléctrica, de los sistemas electrónicos, de los sistemas de tuberías, de habilitación y mobiliario, etc.
- Planos preliminares y/o de contrato, como la disposición general del buque, cuaderna maestra y planos de hierros, disposición general de cámara de máquinas, esquemas funcionales de sistemas de tuberías, etc.
- Lista de equipos principales, base fundamental para realizar las especificaciones técnicas de compra, fijar las fechas de necesidad de acopio, etc.

Ingeniería de producción realiza en colaboración con ingeniería de diseño de detalle la lista preliminar de planos desde dos aspectos fundamentales, que son la organización y las fechas de necesidad de los planos de construcción, con el fin de lograr una lista de planos orientada al producto y que permita alcanzar la construcción integrada planificada para el buque, es decir en definitiva orientar el diseño a la construcción del buque.

Durante las etapas iniciales del proyecto se crea una lista de órdenes de trabajo con el fin de obtener una previsión de todos los trabajos necesarios para la construcción del buque.

Esta previsión persigue varios objetivos principales, primero identificar y definir las tareas necesarias para la construcción del buque, segundo agrupar esas tareas en órdenes de trabajo, y por último orientar los paquetes de trabajo a la Estrategia Constructiva, unificando los criterios de codificación.

Para la realización de las órdenes de trabajo se interpretan los planos recibidos de la oficina técnica y teniendo en cuenta los métodos y procesos de fabricación, y los talleres donde se va a fabricar con sus medios de elevación, etc., se define el proceso de producción adecuado teniendo en cuenta siempre la estrategia constructiva.

Realmente son el elemento que relaciona la fase de diseño con su proceso de construcción, y por tanto para ser eficaces deben de ser coherentes con este último.

Una vez elaboradas las órdenes de trabajo se envían junto con el resto de documentación técnica asociada y planos, a los diferentes centros de producción donde se van a usar, es decir talleres de elaboración y previas, tuberías y módulos, prearmamento en bloques, armamento en zonas o pruebas, etc.

2. Construcción de bloques.

Durante el proceso de construcción de los bloques se solapa la prefabricación de los mismos, con el montaje de los elementos, componentes y equipos en prearmamento.

El proceso constructivo del casco se inicia en el parque de materiales (fundamentalmente de chapas y perfiles) donde se reciben y almacena el acero estructural que se usará en la fabricación y montaje del casco y habilitación.

A continuación chapas y perfiles pasan al taller de elaboración, donde tiene lugar el corte y figurado de planchas y perfiles. Seguidamente, empieza la unión de las planchas y perfiles y la fabricarse los paneles y previas en el taller de elaboración y previas y si por necesidades productivas así se requiere también en el taller de prefabricación, donde además se forman los sub-bloques (cubiertas con todos sus elementos, costados y mamparos en posición invertida, etc.). En este taller y con los sub-bloques en posición invertida, comienza ya la fase P1, con el montaje de polines, tubería, canalizaciones eléctricas, conductos de ventilación, etc.

La unión de varios sub-bloques en posición normal da lugar a un bloque, el cual será trasladado al taller de prearmamento en P1, en donde se continúa con el prearmamento en bloque. Finalizada la fase de P1, el bloque entra en una de las cabinas de chorreado y pintado. Una vez que sale el bloque de las cabinas, la siguiente fase del proceso productivo se desarrolla en el taller de prearmamento 2, donde serán instalados todos los elementos sensibles a las operaciones de chorreado y pintado de la etapa anterior. Los elementos instalados en esta fase se

reciben del almacén (cables, equipos, aislamientos, etc.) o bien directamente del proveedor. Finalizada esta fase el bloque es montado en la grada de construcción.

3. Acero

Tradicionalmente el área de fabricación denominada en los astilleros de “aceros” es la responsable de la elaboración, prefabricación y montaje en grada o dique de construcción del casco estructural del buque así como de su botadura.

El proceso de fabricación del casco se inicia en el parque de materiales (chapas, perfiles y elementos fundidos) tradicionalmente perteneciente al almacén general del astillero y dura hasta la botadura si es montaje en grada o flotadura si es montaje en dique de construcción. Este macroproceso denominado *construcción del casco* puede descomponerse a su vez en otros dos subprocesos de menor entidad denominados *elaboración y prefabricación de bloques*, son de vital importancia dentro del proceso productivo general de la construcción de un buque y por eso se explicará detalladamente a continuación.

a) Construcción del casco

El proceso de construcción del casco comienza en el parque de materiales generalmente perteneciente al almacén general del astillero donde se recibe y almacena el acero estructural, habitualmente chapas y perfiles de diversas medidas, espesores y calidades. A continuación estas chapas y perfiles pasan por un proceso de aplanado, chorreado e imprimado si es necesario (en función del tiempo y condiciones en que hayan estado almacenadas) para seguidamente ser transportadas al taller de Elaboración donde tiene lugar el corte de planchas y perfiles para dar lugar a las diferentes piezas. Seguidamente, y previo figurado de aquellas piezas que por su posición en el barco sea necesario dar forma curva se procede a la unión de dichas piezas junto con otras chapas y perfiles, en el taller de prefabricación, formando sub-bloques o conjuntos estructurales (cubiertas con todos sus elementos, costados y mamparos en posición invertida). En este taller, con los sub-bloques en posición invertida, comienza la fase de P1.

La unión de varios sub-bloques en posición normal dan lugar al producto intermedio básico en la construcción naval y que denominamos bloque, en donde se continua con el P1. Finalizada la fase P1, el bloque entra a chorrear y pintar. La siguiente fase del proceso productivo es el prearmamento P2. Finalizada esta fase el bloque es montado en la grada.

b) Elaboración de bloques.

En los talleres de Elaboración suelen distinguirse visiblemente dos líneas claras de fabricación, por un lado la de elaboración de planchas y por el otro la elaboración de los perfiles.

La elaboración de planchas comienza con el aplanado de las mismas y el marcado del despiece para el que será destinada así como la identificación de su contraste para conseguir la trazabilidad de todas y cada una de las piezas que lleva el barco. A continuación se realiza el marcado y el corte de las planchas de acuerdo con las hojas de preparación de despieces o anidados, en cualquiera de las máquinas disponibles para tal fin. Finalizada la operación de corte de las planchas se procede a la preparación de bordes para soldadura de las piezas que lo así lo requieran si es que no se ha realizado ya durante la operación de corte. Por último si alguna pieza necesita ser curvada pasará por los distintos procesos de figurado; cilindros, prensas o aplicación de calor.

Parte de las piezas elaboradas formarán paneles para mamparos corrugados que son figurados con moldes especiales en la plegadora.

La elaboración de perfiles, es en cierto modo similar a la de la elaboración de planchas. Cuando entran en el taller se clasifican por tipos de perfiles y a continuación un sistema robotizado los corta, si bien puede darse el caso de que excepcionalmente haya que cortarlas manualmente. Si es necesario, los perfiles también pasan por los procesos de figurado, curvadora, turrón, aplicación de calor, etc.

En todos los casos las piezas son marcadas individualmente con su marca, despiece, buque y calidad, para su perfecto control en procesos posteriores.

Con algún material elaborado a partir de planchas y perfiles se pueden prefabricar pequeñas previas en la sección de Previas. Para lo cual se dispone de la estrategia del bloque.

c) Prefabricación de bloques.

El proceso de prefabricación, encaminado a la construcción del bloque, comienza con la recepción de los elementos elaborados en la etapa previa dentro del taller de Elaboración, es decir; planchas cortadas y/o figuradas, perfiles cortados y/o figurados, previas y mamparos corrugados.

La prefabricación del bloque comienza con la construcción de la cama para el bloque, basándose en la documentación técnica (información gráfica y numérica) generada por el departamento de ingeniería u oficina técnica. Las camas pueden ser:

- con figura para el forro exterior del buque: sobre el suelo del taller o mesa de prefabricación y con los datos de las dimensiones máximas de la cama se elige el sitio adecuado para la construcción de la misma teniendo en cuenta los elementos de elevación necesarios.
- para cubiertas y bloques en posición invertida a nivel o con arrufo⁸¹, la información usada para la construcción de estas camas es el propio plano del bloque y la información de la cartilla de trazado.

A continuación se prefabrican los paneles, que pueden ser de dos tipos:

- Paneles con superficie de apoyo plana, para el armado del panel se sitúan las planchas que lo constituyen sobre una superficie plana continua, dispuestas sobre las vigas que actualmente constituyen el piso del taller de prefabricación. Una vez comprobada la correcta disposición de los chaflanes y situación de las planchas dentro del panel, se puntean entre sí. Una vez soldado el panel se voltea, limpia de impurezas y se procede a soldar por la otra cara siguiendo el mismo proceso que el antes indicado y la misma

⁸¹ Básicamente y en lo que atañe a la construcción del bloque puede decirse que el arrufo es la curvatura de construcción que recibe la cubierta principal respecto del plano horizontal, quedando los extremos de proa y popa más elevados que el centro del buque

secuencia que se dio para el cordón de la cara opuesta. Para la secuencia a seguir, se recibe, por cada bloque, un plano de secuencias de soldadura, la cual describe todas las uniones soldadas.

- Paneles con superficie de apoyo no plana, estos paneles se sitúan plancha a plancha en la cama. Se empieza situando las planchas que lo forman, haciendo coincidir sus extremos con las marcas hechas en las secciones de la cama a una y otra banda. En los bloques de forro y los de figura, una vez colocadas las planchas se puntearán entre sí. Una vez asegurado el panel a la cama se soldarán las costuras y topes de acuerdo con la secuencia marcada antes de empezar a armar elementos en él.

Trazado el panel se procederá al armado de elementos y sub-bloques. Se puntearán los elementos longitudinales y transversales. Los elementos que no se han de soldar, es decir, que quedarán punteados, hasta la unión de un bloque con el contiguo, son indicados en la estrategia constructiva para cada bloque.

Una vez punteados todos los elementos y sub-bloques al panel o forro se procederá, a la verificación.

Finalmente los sub-bloques se voltean y se procede al armado final del bloque en posición normal.

4. Prearmamento

En el taller de Prearmamento se realizan las actividades de montaje de los diversos elementos dentro del bloque: tubería, ventilación, equipos varios, cableado y conexionado, etc., tanto antes del chorreado y pintado del bloque denominado prearmamento en fase 1 o P1, como después de esta operación llamado prearmamento en fase 2 o P2.

Los talleres de origen (electricidad, tubería y módulos, habilitación, montaje, pintores, etc.) aportan el personal, los conocimientos, métodos/procedimientos específicos de cada área, los elementos elaborados (soportes eléctricos, tubos, conductos, polines, etc.) y por otra parte el taller de prearmamento aporta la

programación, planificación y coordinación de los trabajos a realizar y el montaje de los elementos elaborados (soportes eléctricos, tubos, conductos, polines, etc.).

El proceso de prearmamento se divide en dos fases P1 y P2, separadas la una de la otra por el chorreado y pintado del bloque.

En la fase de P1 se realizan todos aquellos trabajos que pueden ser chorreados sin que sufran daños, por ejemplo; montaje de tuberías, penetraciones, canalizaciones, conductos, polines, soportes, etc.

En la fase de P2, se realizan todos aquellos trabajos que puedan dañarse en el proceso de chorreado, por ejemplo; montaje de equipos, tendido de cables, aislamiento, montaje de carpintería metálica, conexiones eléctricas, etc.

Para el control de estos procesos se dispone entre otros de los siguientes documentos:

- Estrategia constructiva, que define los paquetes de trabajo para cada etapa de prearmamento del bloque.
- Programa de construcción, planificación y programación del montaje de bloques, etc.
- Métodos, procedimientos, instrucciones de trabajo, etc.
- Órdenes de trabajo, para la realización de los diferentes trabajos, que llegan al taller a través de los centros de origen junto con los planos, necesarios para ejecutarlas.
- Resto de documentación técnica necesaria para la realización de los trabajos y/o consulta que se reciben de ingeniería de producción, como pueden ser los planos de tipo funcional (disposiciones, esquemas de servicios, etc.).

El prearmamento de los bloques en fase 1 comienza en los sub-bloques en posición invertida en el taller de prefabricación de bloques. Finalizado el prearmamento de sub-bloques, el área de fabricación de aceros realiza la unión de estos dando como resultado el bloque armado. El taller de Prearmamento continúa los trabajos de P1 en el bloque hasta su completa finalización, el final de este proceso da como resultado un bloque prearmado con elementos de P1.

A continuación el bloque pasa al siguiente proceso de chorreado y pintado, durante el cual tiene lugar tanto la preparación de superficies como el pintado. Como resultado de este proceso se obtiene un bloque chorreado y pintado, lo que conduce al siguiente proceso llamado prearmamento de bloques en fase P2, en el que básicamente se realizan los trabajos de instalación de equipos, tendido de cables, aislamiento, etc. De la finalización de este proceso se obtiene un bloque con alto nivel de prearmamento listo para ser montado en la grada.

5. Tubería

En el taller de tubería se realiza la fabricación, montaje y prueba de los sistemas de tuberías. El proceso de fabricación de los tubos en el taller está basado en la agrupación de los tubos en bandejas.

Se define como bandeja al conjunto de tubos agrupados por similitud de materiales (facilidad en la elaboración) y por proximidad en el montaje (facilita el montaje)

La tubería se fabrica en el taller basándose en la información suministrada por ingeniería de producción y gestión de la producción, básicamente la programación, la orden de trabajo, los planos y la estrategia constructiva. Gestión de la producción además de controlar y registrar toda la información que llega al taller, es la responsable de agrupar la información recibida y de pedir al almacén general la tubería y los accesorios, y envía a la zona de recepción de materiales la documentación necesaria para la elaboración de los tubos por bandejas.

El almacén general suministra directamente al taller los tubos de fabricación anticipada, los cuales son estibados en la zona de almacenamiento para el corte y los accesorios y tubos que no son de fabricación anticipada, que son almacenados en la zona de recepción de materiales. Se entiende por fabricación anticipada aquellos tubos que se fabrican en taller definidos por documentación o bien los que alguna medida debe ser facilitada por la obra. Son tubos que no son de fabricación anticipada son los que se fabrican en la obra, bloque o buque.

En la zona de recepción de materiales se conforman las bandejas de materiales y se elaboran las etiquetas identificativas de los tubos, las cuales son enviadas junto con

una copia en papel de la orden de trabajo a la zona de corte. Las bandejas conformadas con el material necesario para llevar a cabo la fabricación de la misma se quedan en esta zona hasta que la mesa o placa de fabricación la reclame.

El proceso de corte de los tubos comienza con el transporte de los tubos desde la zona de almacenamiento hasta la zona de corte, en la cual los tubos son cortados de acuerdo con la información de las isométricas incluidas en la orden de trabajo. Una vez cortados los tubos son identificados con las etiquetas previamente elaboradas y se va formando la bandeja de tubos la cual pasa al siguiente proceso que en este caso es el curvado, en donde a los tubos que lo requieren se les da la forma indicada en la isométrica. Después de curvados los tubos son depositados en la misma bandeja y ésta pasa al proceso de desengrase en el cual sólo son desengrasados los tubos que han sido curvados. Finalizado este proceso los tubos son devueltos a la bandeja, en donde esperan los tubos que no han necesitado sido curvados, es decir los rectos. La bandeja con la totalidad de los tubos, los curvados y los rectos, es transportada a la placa o mesa de fabricación, la cual reclama a la zona de recepción de materiales los accesorios y los tubos de no fabricación anticipada necesarios para comenzar la elaboración (conformar) de los tubos, es decir el armado del tubo con sus accesorios (bridas, manguitos, penetraciones, salientes, etc.). Los tubos que requieren soldadura fuerte capilar son soldados en esta zona por soldadores de tubería homologados.

Concluida la elaboración de los tubos la bandeja pasa al proceso de soldadura, en la cual los tubos que no fueron soldados en la placa de fabricación son soldados por soldadores homologados. La finalización del proceso de soldadura lleva la bandeja de tubos elaborados a la zona de limpieza y protección, en donde todos los tubos son limpiados y posteriormente protegidos en sus extremos mediante tapas que impidan la introducción su interior de elementos extraños. En este punto la bandeja con los tubos se da por finalizada y queda en situación de espera para ser transportada a la etapa de montaje definida en la orden de trabajo, que puede ser bien el taller de módulos o bien el taller de prearmamento o las zonas (grada o a flote).

6. Habilitación

En el taller de habilitación se fabrican y montan los elementos relacionados con la habitabilidad del barco, como son: mobiliario, conductos de ventilación y aire acondicionado, falsos pisos y techos, conductos de aire de combustión y exhaustación, forros y falsos techos, material de carpintería metálica, etc. Además de una amplia variedad de trabajos ya sean de elaboración, montaje o ambos procesos relacionados con pañoles, estibas diversas, elementos de maniobra y trabajos para otros talleres.

La información necesaria para realizar los trabajos se recibe de ingeniería de producción y de gestión de la producción. El taller la cual se encarga de archivarla, analizarla y distribuirla a los responsables de los trabajos de elaboración o montaje, además de efectuar las correspondientes peticiones de material al almacén general y realizar la recepción de estos materiales, en las zonas destinadas a este fin en el taller, y finalmente asignarlos a los distintos trabajos.

Una vez que un trabajo tiene asignados los materiales y la documentación en forma de cuadernillo en el que se da la información para la elaboración de todos y cada uno de los componentes de un montaje determinado, comienza el proceso de elaboración en su primera fase que suele ser la fase de corte, este se realiza en las distintas máquinas: de plasma, sierras de perfiles, tronzadora universal o cizallas, pasando a continuación los distintos elementos, identificados y agrupados por trabajo, en bandejas o palets al proceso siguiente que suele ser el de plegado o curvado, estas se desarrollan en las zonas de plegadoras o cilindros de curvado, pasando, una vez finalizadas estas operaciones, a las mesas o placas de armado siendo en esta fase donde se ensamblan las distintas piezas que componen un determinado montaje. Concluido el proceso de armado los conjuntos pasan al proceso de soldadura el cual se realiza por medio de soldadores homologados en los distintos procedimientos aplicables, finalizado este proceso los elementos elaborados con su identificación correspondiente pasan a la zona de espera para ser enviados a prearmamento o son enviados directamente al taller de pintores donde se realizan los tratamientos necesarios de chorreado y pintado según se

requiera, finalizados éstos, también pasarían a la zona de espera. El taller registra y gestiona los elementos fabricados, encargándose de su control y distribución según las órdenes de trabajo correspondientes, a los distintos puntos de montaje, prearmamento, grada o a flote

7. Montaje

El área de Montaje o de monturas a flote del astillero es la responsable de la elaboración de componentes mecánicos a instalar en los buques, introducción y montaje de equipos y sistemas mecánicos en el buque, su puesta en marcha y conservación hasta la entrega del buque, así como del mantenimiento de reparación de máquinas herramientas en el área de armamento.

La responsabilidad del mantenimiento preventivo es responsabilidad de cada uno de los centros de producción.

Ingeniería de producción y gestión de la producción son responsables de coordinar la documentación suministrada, estrategia constructiva, planos y ordenes de trabajo con los centros dependientes. Basándose en esta documentación los materiales y equipos necesarios para llevar a cabo los trabajos son pedidos al almacén.

El taller de equipo recibe de gestión de la producción los materiales y órdenes de trabajo relacionadas con la elaboración de componentes y mecanizados, pedidos, principalmente, por otros centros del astillero (auxilios de centros) y entrega los productos al mismo centro solicitante para la incorporación en la etapa definida de prearmamento o zonas.

El taller de montaje con los equipos, materiales, elementos elaborados, planos y órdenes de trabajo lleva a cabo los trabajos de introducción, montaje de equipos e instalación de sistemas mecánicos en las etapas de prearmamento de bloques o de zonas así como las pruebas de los sistemas mecánicos del buque basándose en los protocolos de pruebas.

8. Electricidad y electrónica

El taller de electricidad y electrónica es el centro responsable de la instalación de los equipos y sistemas eléctricos y electrónicos incluyendo canalizaciones eléctricas, tendido de cables, conexionado, etc. Así mismo es responsable de la puesta en marcha y mantenimiento de los sistemas hasta la entrega del buque.

Recibe la documentación de trabajo (planos, órdenes de trabajo y estrategia constructiva) de ingeniería de producción. Otro tipo de documentación, como manuales técnicos, procedimientos, etc., se reciben de otros centros como Logística o Calidad.

Se describe a continuación el proceso de trabajo separadamente para electricidad y para electrónica, por existir actividades particulares con distinta ponderación en cada caso

a) Electricidad.

El proceso comienza con la instalación en la fase 1 de prearmamento de las canalizaciones y soportes de equipo eléctrico. El material contenido en las órdenes de trabajo correspondientes se pide al almacén, que lo envía al área de prearmamento para su instalación, que se lleva a cabo de acuerdo con los planos aplicables.

Una vez que el bloque ha sido chorreado y pintado comienza la fase de prearmamento 2 con el montaje de equipos, así como la instalación de cableado y conexionado. Existen órdenes de trabajo específicas para estas actividades, que permiten retirar los materiales necesarios. Por otra parte, determinados equipos que son conexionados por electricidad son montados por otros centros atendiendo a diversas razones (necesidad de medios de izado o maniobra, equipos no puramente eléctricos pero con conexionado eléctrico, etc.).

Durante toda la fase hasta ahora descrita, los trabajos se realizan bajo la dirección del responsable del taller de prearmamento, al cual el centro apoya con la aportación de medios humanos y la gestión de materiales y documentos de trabajo.

Una vez finalizado el prearmamento, la instalación continúa en la grada, con las mismas actividades de montaje de equipos, cableado y conexionado correspondientes a la parte que no procede realizar en prearmamento. En la medida en que sea necesario, esta actividad continúa después de la botadura del buque. La dirección de la obra corresponde en esta fase al jefe de buque, auxiliado por los jefes de zona que se designen en cada caso.

Además de lo anterior, se ejecutan las pruebas establecidas en el programa de pruebas establecido. Ello implica adecuar la finalización de determinados trabajos de acuerdo con el calendario de pruebas. Existen, como norma general, pruebas de etapa II, en las cuales se verifica la instalación de un equipo o sistema, así como la continuidad y resistencia de aislamiento de los cables correspondientes. Una vez cumplimentados los protocolos correspondientes, se puede realizar el encendido de los equipos y realizar los ajustes pertinentes antes de cumplimentar los protocolos de las fases posteriores. En esta fase se utilizan habitualmente, además de los planos, los manuales técnicos necesarios, y los aparatos de medida que corresponda, en debido estado de calibración, de acuerdo con los procedimientos aplicables y bajo el control de calidad.

Durante las pruebas de mar se presta, además, el apoyo necesario con los medios humanos y materiales para la navegación, seguridad y realización de las pruebas.

b) Electrónica.

El proceso comienza con la elaboración de conexionado en el taller, para lo que se utilizan las órdenes de trabajo preparadas por ingeniería de producción, a partir de las cuales se solicita al almacén los materiales, cables y conectores, que junto con los planos de conexionado aplicables permiten desarrollar esta fase de trabajo.

El tendido de los cables, tanto los que han sido conexionados en el taller como los que no lo han sido, es desarrollado por el área de electricidad.

Una vez que se dispone de los cables debidamente instalados a bordo se realiza, en aquellos casos que lo requieren, la finalización del conexionado, para lo que se utilizan las mismas fuentes de información y materiales que el proceso de

conexionado en taller, apoyándose en determinados equipos en mock-ups de los mismos

El proceso de conexionado está apoyado por procedimientos e instrucciones internas, en las que se recogen los diferentes autocontroles aplicables que constituyen la base de la trazabilidad del proceso. Además, en algunos casos, se desarrollan pruebas específicas de aislamiento y continuidad incluidas en el programa de pruebas.

En el proceso de instalación de los equipos de los sistemas electrónicos, debido a las especiales características de algunos de ellos conllevan la intervención de diferentes talleres, dando comienzo en prearmamento y con similares consideraciones que las incluidas para los equipos eléctricos.

Existen pruebas de etapas iniciales, en las que se efectúa la comprobación de la correcta instalación de los equipos electrónicos.

De acuerdo con el programa de pruebas, se procede al encendido y puesta a punto de los equipos. A medida que se avanza en el proceso de pruebas de cada buque cumplimentando los distintos protocolos satisfactoriamente, se remiten los mismos al área de pruebas y al programa. Este proceso se extiende hasta las pruebas de mar, siendo usual la realización de salidas a la mar para la comprobación del correcto funcionamiento de diversos elementos.

Durante todo este periodo, en los casos en los que se necesita, se efectúan trabajos de mantenimiento, manteniéndose un registro de las incidencias que posibilitan el análisis estadístico de los sistemas y el seguimiento de la solución de los problemas. Esta tarea de mantenimiento se basa en los manuales de los equipos e instrucciones.

9. Acabado por zonas

La fase de ACABADO DE ZONAS empieza con la unión en la grada de bloques pertenecientes a una zona determinada y termina con la entrega del buque. Por lo tanto puede decirse, con referencia a hitos importantes de la construcción de un

buque, que la fase de acabado de zonas comienza poco después de la puesta de quilla y acaba con la entrega del buque.

Esta etapa tiene dos fases claramente diferenciadas, una en la grada y otra a flote, separadas por dos importantes hitos como son la botadura y la varada posterior a la misma. De la misma forma los trabajos que se llevan a cabo en cada una de las fases son bastante diferentes. La mayor parte del trabajo de acabado de zonas se realiza, desde la formación de zonas hasta la botadura, es decir en la grada, restando para la fase a flote la puesta a punto y pruebas de sistemas.

Tanto en una fase como en la otra, las diferentes actividades y operaciones son llevadas a cabo por equipos de trabajo con un responsable para cada zona del buque. Trabajos típicos de acabado que se realizan en grada son: montaje de tuberías de cierre, tendido de cables en zona, montaje de aparatos y equipos electrónicos, anclaje definitivo del equipo propulsor y alineación de la línea de ejes, remates de habilitación (falsos techos, forro decorativo y protector, pavimentos, pisos flotantes, mobiliario, etc.). Los trabajos más importantes que se realizan en la etapa de a flote son la introducción y montaje de equipos y la puesta a punto y las pruebas.

Las pruebas se efectúan a medida que las zonas del buque se van conformando y que los sistemas que se vayan a probar estén ubicados en esa zona.

Las pruebas en puerto (HAT) se efectúan después de la instalación a bordo de los sistemas, subsistemas y equipos con el fin de demostrar su correcto funcionamiento.

Después de completadas las pruebas en puerto y todas las instalaciones de equipos, mobiliario y sistemas necesarios para la seguridad operativa de las pruebas de mar estén completas y en orden de funcionamiento, se realizarán las pruebas de mar (SAT) para demostrar el correcto funcionamiento de todos los equipos, sistemas y subsistemas que no hayan podido ser probados durante las pruebas en puerto.

La aceptación de las pruebas de mar por parte del cliente conduce a la entrega del buque.

CAPÍTULO 3.- CASO PRÁCTICO DE IMPLANTACIÓN DE LA METODOLOGÍA LEAN

3.1.- INTRODUCCIÓN

El objeto de este caso práctico es demostrar que pueden aplicarse los métodos de fabricación *lean* tradicionalmente utilizados en el sector del automóvil, donde las fábricas son capaces de producir un coche cada minuto, a un astillero que aun dedicándose a la construcción de buques tecnológicamente complejos, utiliza métodos de fabricación tradicionales y produce un único buque cada 28,5 meses, en el caso concreto que nos ocupa dentro del marco de esta investigación.

A la hora de aplicar estas técnicas pondremos el foco fundamentalmente en el área de Fabricaciones, aunque sin perder de vista las funciones soporte necesarias como son planificación, ingeniería y compras.

En el marco de esta investigación se entenderá por Fabricación todas aquellas tareas del proceso de construcción del buque que se llevan a cabo en los talleres, y que se realizan previamente a los trabajos de ensamblaje y montaje en dique, grada, muelle, etc.

No obstante dentro del ámbito de esta investigación se incide en múltiples relaciones de procesos que confluyen no solo en el ensamblaje y montaje final del buque, sino en la dinámica de gestión y en el seguimiento de los mismos para llevar a cabo esos procesos de una manera eficiente. Para ello se verá que es parte imprescindible la capacitación de todos los empleados en función del rol que desempeñen dentro de la organización.

Desde el punto de vista de la cadena de suministro, y antes de entrar en el campo de la Fabricación, se encuentra el ámbito de la ingeniería y el aprovisionamiento. Esta investigación se centrará en la Fabricación y en todos aquellos aspectos de la ingeniería y la logística necesarios para dar soporte y llevar a buen término esta nueva sistemática constructiva o este nuevo modelo de construcción aquí propuesto.

3.2.- PASOS DE LA INVESTIGACIÓN

Desde el principio debe manifestarse que el panorama completo de cambios en la forma de trabajar que se producen al iniciar el camino hacia una transformación *lean* en un astillero es tan profundo que afecta y abarca, de manera transversal e integral, a todos y cada uno de los ámbitos del mismo, empezando por la mismas personas.

Muchas empresas han fracasado a la hora de implantar Lean, porque han cometido el error de ser demasiado ambiciosos desde el inicio cuando su estructura empresarial no estaba todavía preparada para un proceso de cambio tan profundo, y como consecuencia la organización se reorganizaba en paralelo para trabajar del antiguo modo. En otras ocasiones hay tantos cambios y tan profundos en tan poco tiempo que las empresas no son capaces de asimilarlos y de llevar el control de los mismos, detectando demasiado tarde que no van por el camino correcto y con poco margen de maniobra para reaccionar.

Como la experiencia adquirida nos dice y la bibliografía existente nos muestra, para no cometer los errores anteriormente descritos es preferible aplicar las mejoras y realizar los cambios poco a poco, sin pausa pero consolidando cada paso que damos para no tener que retroceder ni volver atrás.

Sintetizando la experiencia adquirida hacia un proceso de transformación Lean, podemos establecer 4 pasos en la hoja de ruta, que no tienen por qué ser exactamente iguales en todos los astilleros:

- Paso 1. Preparación
- Paso 2. Análisis de la situación inicial.
- Paso 3. Desarrollo del nuevo modelo de trabajo.
- Paso 4. Implantación en Producción.
- Paso 5. Seguimiento.

Estos pasos serán el guion de desarrollo de este capítulo.

El primer paso hace referencia a las tareas de formación, búsqueda de colaboradores externos e internos, preparación de la organización para el inicio del cambio, etc.

El segundo paso hace un análisis exhaustivo de la situación actual del astillero, de sus procesos y del producto a fabricar. Es un análisis de principio a fin o “end-to-end” del producto, de cómo se va a fabricar, en qué talleres, en qué momento de oportunidad, quién lo va a hacer, con qué máquinas y herramientas, qué planos y documentación técnica es necesaria, cuando, como y donde llegarán los materiales, etc., etc.

El tercer paso se asienta sobre el anterior, y busca definir el nuevo modelo de trabajo que se quiere implantar, basado en los principios Lean y adaptados a las características particulares y saber hacer del astillero.

El cuarto paso trata sobre cómo llevar a cabo la aplicación en Producción de la metodología establecida anteriormente.

El quinto y último paso, pero no por ello menos importante, desarrolla las herramientas de control y seguimiento de la producción.

En realidad estos pasos no son estrictamente secuenciales, sino que buena parte del trabajo se desarrolla en paralelo, en un proceso iterativo que busca la agilidad de respuesta y la capacidad de adaptación a las diferentes circunstancias que se van dando durante la implantación.

3.3.- PREPARACIÓN

Para llevar a cabo un proceso de transformación tan profundo como el que resulta de aplicar Lean a un gran astillero que tiene implantado un sistema de fabricación tradicional, es fundamental un compromiso fuerte y visible por parte de la Dirección de la empresa. Tomando esto como punto de partida, la organización se debe preparar para arrancar el proceso.

Durante este período inicial surgen muchas incertidumbres y dudas que no facilitan la toma de decisiones en estos primeros momentos y de ellas se derivará en gran medida el devenir de la implantación.

A modo de ejemplo mencionar que una de las primeras decisiones que es necesario tomar es si este largo camino debe recorrerse solo o acompañado⁸².

Para ayudar a esta toma de decisiones surge la necesidad en este momento de mirar hacia fuera y observar qué están haciendo los astilleros más eficientes del mundo, cuáles son sus mejores prácticas, sus áreas de negocio, con qué modelos productivos están trabajando, qué métricas barajan, cuáles son sus niveles de desempeño, etc. Puede decirse que estamos hablando de un proceso clásico de benchmarking, cuyo objetivo final sería ver cómo están consiguiendo la sostenibilidad los astilleros más eficientes del mundo, algunos de ellos competidores o colaboradores nuestros, y medirnos contra ellos en determinadas áreas de interés para saber cómo estamos y poder comparar nuestras mejores prácticas con las suyas para identificar puntos de mejora competitiva, tecnológica, etc. En definitiva, lo que se busca es saber cuál es nuestra posición real como constructores en el mercado global.

Para realizar este proceso de benchmarking, durante los años 2013 y 2014 se han visitado las siguientes empresas, mayoritariamente astilleros:

- Bath Iron Works (BIW), USA
- NASSCO, USA
- Meyer Werft, Alemania
- Scotstoun y Govan, BAE SYSTEMS, Escocia
- AIRBUS, España
- Citroën, España
- DAEWOO, Corea
- HYUNDAI, Corea

⁸² Nos estamos refiriendo aquí a la necesidad o no de recurrir a una empresa de consultoría especializada en *lean*.

De estas visitas se desprende que todas las empresas visitadas están en fase de implantar Lean desde hace algunos años o lo han hecho ya plenamente aunque estén en un proceso de mejora continua, como es el caso de Citroën, aunque es de señalar que el período de implantación inicial para considerar que se está trabajando aplicando los principios Lean no es inferior a 6 -8 años en función de la intensidad de la implantación.

En el caso de los astilleros se observa que los diferentes modelos que nos podemos encontrar son:

- Formación de personal propio en herramientas y técnicas Lean. Este personal liderará la transformación y actuará como promotor del cambio desde el inicio del proyecto.
- Contratación de personal con experiencia en herramientas y técnicas Lean, formando parte de la plantilla. Este personal generalmente viene del sector del automóvil.
- Recurrir a expertos externos a la empresa que asesoren, formen y piloten el arranque del proceso de transformación Lean.

Se ha visto que este último caso es el más frecuente en la gran mayoría de las empresas, sobre todo de determinada dimensión, especialmente durante la fase de arranque. Estos modelos de colaboración se pueden materializar en acuerdos de Transferencia de Tecnología con otros astilleros que estén trabajando con esta metodología o en la contratación de empresas de consultoría.

Este caso se ha visto en los astilleros de NASSCO y BAE SYSTEMS, que tienen acuerdos de transferencia de tecnología con DAEWOO y HYUNDAI en las áreas de planificación, programación e ingeniería de producción.

Los tres casos expuestos no son excluyentes. Realmente, puede comenzarse apoyándose en una empresa de consultoría, que actúe como revulsivo externo para la organización. Trabajando estrechamente con esta empresa consultora, debe encontrarse un equipo de trabajo del propio astillero, para empaparse de todo el conocimiento de la consultora. Este equipo de trabajo de la propia empresa

asumirá, paulatinamente, el papel de la consultora interna hasta adquirir las capacidades e independencia necesaria para continuar desarrollando el proceso de transformación *lean* de manera autónoma. En todo este camino, es posible, a su vez, reforzar a la propia empresa con contrataciones de personal expertos en técnicas y herramientas Lean, casi siempre provenientes del sector de la automoción, como es el caso de Airbus y Meyer Werft.

En el caso que nos ocupa ha decidido decantarse por un modelo de trabajo que arranca con la colaboración de una empresa de consultoría de primer orden de ámbito global y con presencia en los 5 continentes.

Una vez seleccionada la empresa de consultoría, debe constituirse el equipo Lean del astillero, que trabajará estrechamente con ella y que actuará como llave de entrada a todos los niveles de la organización.

Este equipo Lean, entre otras misiones, tiene que abrir la iniciativa al resto de la empresa.

Desde la perspectiva de la Fabricación, será necesario formar los equipos de trabajo centrados en el personal de Producción, Ingeniería de Producción y Gestión de la Producción apoyados desde el principio y de manera continua por personal de ingeniería, aprovisionamientos, planificación, etc. Este equipo de trabajo será el que se encarga de dar los siguientes pasos hacia la implantación en los talleres de fabricación.

3.3.1.- Selección de la empresa de consultoría

Al margen de consideraciones económicas, los requisitos mínimos que cabe exigir a una empresa de consultoría para un proceso de transformación *lean* son como mínimo las siguientes:

- Conocimiento contrastado en el empleo de herramientas Lean.
- Experiencia de transformación en otras empresas similares.
- Orientación a la transferencia de conocimiento.
- Implicación y compromiso con los resultados de la transformación.

La empresa consultora está llamada a jugar un papel crucial en el arranque de esta transformación. La consultora es responsable de proporcionar la formación necesaria y de guiar al astillero en el proceso de implantación. Va a ser ella quien dote de autoridad a los cambios propuestos, validando el camino en la dirección adecuada según los principios Lean y los objetivos de la implantación.

Una vez iniciado el proceso de transformación, es habitual que surjan múltiples líneas de trabajo y todas ellas aparentemente de la misma importancia. Es en este punto donde la experiencia de la consultora, basada en las implantaciones en otras empresas, revelará toda su utilidad, detectando, priorizando y canalizando las diferentes iniciativas de mejora en función de su facilidad de implantación y de su impacto económico en la cuenta de resultados.

Muchos de los problemas que nos vamos a encontrar en un astillero, no son específicos del sector de la construcción naval. Sin embargo, facilita la comunicación y precisión en la dirección de las iniciativas que la empresa consultora tenga experiencia en astilleros, así como la comprensión de los puntos que sí puedan ser específicos del sector.

Es deseable que la experiencia de la empresa consultora se base en astilleros de características lo más similares posibles al de la implantación. De esta manera, se debe tener en cuenta, como mínimo, su experiencia en:

- Astilleros de dimensiones similares
- Astilleros que operen con productos similares
- Astilleros con una estructura societaria similar
- Astilleros con una cultura empresarial similar

Este tipo de transformación incide en la cultura empresarial y social del astillero. No debe desestimarse en ningún momento el modelo de relaciones laborales en este proceso de transformación, ya que puede ser uno de los puntos críticos de la iniciativa. Es el propio astillero quien mejor conoce sus estructuras de mando, tanto las formales como las informales, sus capacidades y su flexibilidad, pero es

importante que la empresa de consultoría esté familiarizada con este contexto específico para ayudar en el accionamiento de las palancas adecuadas.

Así mismo, la orientación a la transferencia de conocimiento de la propia consultora es importante. Pueden encontrarse modelos de consultora que se insertan en la propia empresa, realizan ellos mismos las tareas y plantean las soluciones que el astillero debe aplicar. Este modelo de consultora puede tener la ventaja de la rapidez en el cambio, pero tiene el gran riesgo de la falta de consolidación del cambio y que es probable que cuando esta empresa se vaya todo el modelo deje de usarse poco a poco o bien que caiga como un castillo de naipes.

Otros modelos de consultora buscan que la propia empresa aprenda los principios y las herramientas, que los interiorice y que posteriormente desarrolle sus propias soluciones coherentemente con esos principios y apoyándose fuertemente en su experiencia. Este modelo de empresa de consultoría es el que se ha elegido para esta investigación ya que permite una mayor consolidación del cambio y exige una relación estrecha entre consultora y astillero, lo que beneficia la implantación y la consecución de los objetivos inicialmente previstos.

Estas ideas básicas pueden ir dándonos una idea de la importancia del papel que juega en el arranque la empresa de consultoría dentro de todo este proceso de transformación Lean. Como pieza clave, debe estar comprometida con los resultados de la transformación. El astillero debe confiar en la consultoría seleccionada y debe exigir resultados tangibles. Uno de los riesgos a evitar es la solución de problemas en el papel (o en el power point) pero no en la realidad constructiva. Es este un buen punto donde se evalúa el grado de compromiso de la empresa consultora: cuando el modelo que hemos construido se comienza a aplicar en la construcción del buque.

3.3.2.- Selección del equipo de implantación

Dentro de este modelo de colaboración con una empresa consultora, el astillero debe seleccionar un equipo de implantación que trabaje estrechamente con ellos. Este equipo debe tener las funciones de:

- Absorber continuamente el conocimiento generado, recibiendo la formación en principios y herramientas Lean.
- Transmitir estos conocimientos al resto de la organización.
- Enlazar con la organización del astillero, formando y liderando los grupos de trabajo de la mano de la consultora.
- Dar continuidad en el tiempo a la transformación Lean, una vez que la empresa consultora haya abandonado el astillero.

El proceso de transformación Lean no es un hecho puntual, sino que es un proceso continuo de implantación en el astillero y mantenimiento en el tiempo. La formación inicial que recibe el equipo Lean por parte de la consultora debe ser un arranque, que posteriormente se debe ir completando con formación continua. Estas necesidades posteriores de formación surgen de manera natural, al ir afrontando nuevos problemas y retos.

El equipo Lean tiene la misión de ser la avanzadilla del astillero, formándose en primer lugar y formando posteriormente al resto de la organización.

Algunas de las características que debe reunir este equipo Lean son:

- Equipo multidisciplinar. Debe estar integrado por representantes de las principales funciones de la empresa. Deben ser personas que conozcan con suficiente profundidad sus áreas de origen y tengan capacidad de interlocución directa con sus responsables. Lo ideal es además que sean personas de peso dentro de su función, con capacidad para tomar decisiones y que estas luego sean asumidas como propias por su función de origen.
- Abierto al cambio. Los integrantes del equipo Lean deben tener flexibilidad y capacidad de adaptación a las nuevas técnicas.
- Abierto al astillero. El equipo debe tener capacidad de trabajar estrechamente con las diferentes áreas, integrándose en múltiples equipos de trabajo.

- Capacidad de liderazgo. El equipo debe ser capaz de lidiar con las tensiones de la organización para no perder el objetivo de la transformación Lean, aunando esfuerzos e integrando al máximo número de participantes posibles.
- Cohesión. El equipo, internamente, debe tener un alto grado de cohesión para aprovechar al máximo el conocimiento de cada uno de sus integrantes, compartir experiencias y actuar coordinadamente ante el resto de la organización.

3.4.- ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN INICIAL

En la etapa más temprana posible del Proyecto se realizará un diagnóstico inicial de la situación del astillero y del proyecto que se vaya a acometer.

Este diagnóstico se fundamenta en un análisis “End-to-End” de todo el proceso global de la construcción, y consiste en un análisis de principio a fin del buque a construir, que se realizará con la intención de identificar oportunidades de mejora, posibles problemas clave así como buscar la causa raíz que origina los mismos. En este análisis participan todas las funciones y departamentos necesarios para la construcción del buque.

Con este análisis se persiguen, entre otros:

- Identificar los principales problemas que se ven en las diferentes funciones de la empresa.
- Visualizar de manera global estos problemas, ponderando su importancia en el conjunto del Programa/ Organización.
- Priorizar las áreas en las que se debe incidir para mejorar los resultados del astillero.

Este análisis inicial marca las líneas maestras del desarrollo de las iniciativas a implantar.

A partir del diagnóstico realizado se definen y priorizan las iniciativas clave para el proceso de transformación *lean*, poniendo el foco en identificar iniciativas de

mejora en las áreas de planificación, ingeniería, compras y producción así como las interfaces entre las diferentes funciones.

Una vez identificadas y priorizadas las iniciativas se cubrirá una ficha con cada una de ellas donde se identificará al responsable de la misma, al equipo de trabajo, los objetivos a alcanzar así como su impacto en términos de calidad, coste y/o plazo, los hitos intermedios que ayuden a la consecución de los objetivos así como indicadores o KPI's⁸³ de seguimiento.

3.4.1.- Formación inicial

Durante las primeras semanas de la implantación, la empresa de consultoría debe proporcionar la formación necesaria en técnicas y herramientas Lean tanto al equipo de implantación (o equipo Lean) como a las personas clave de la organización.

Uno de los objetivos deseables de esta formación inicial es que sea lo más práctica e interactiva posible, para grabar los principios *lean* en los participantes desde una vertiente experimental, por ejemplo simulaciones prácticas, trabajo con maquetas, simulaciones, juegos, etc. Debe servir para convencer e implicar a los participantes.

Esta formación inicial en conceptos básicos es común a todas las iniciativas que posteriormente se desarrollarán. Sin embargo, cada una de las iniciativas puede demandar formación específica, enfatizando áreas concretas.

⁸³ Key Performance Indicator (KPI). Son indicadores clave del desempeño o de rendimiento de un proceso que normalmente se expresan en porcentaje.



Ilustración 27. Simulación práctica de la construcción de un buque aplicando la metodología Lean, desarrollado por la Academia Lean de Navantia.

3.4.2.- Lanzamiento de iniciativas

Partiendo del análisis inicial, cada una de las oportunidades de mejora o de los problemas principales detectados, se articularán alrededor de las iniciativas que se pongan en marcha. Estas iniciativas concretas son temas específicos de la construcción alrededor de los cuales se formarán equipos de trabajo responsables de su análisis, propuesta de resolución e implantación siguiendo los principios de la filosofía Lean.

3.4.3.- Equipos de trabajo

Como ya se ha visto con detalle en el apartado “3.3.2 Selección del equipo de implantación”, el equipo Lean junto con la empresa de consultoría forman el núcleo duro de la transformación Lean del astillero. Son ellos quienes deben liderar el diagnóstico de la situación, junto con los principales responsables del astillero, y arrancar las diferentes iniciativas en las que se centrará el proceso de transformación Lean.

Cada una de estas iniciativas contará con un responsable del equipo Lean, el apoyo de la consultora, y un equipo de trabajo con personal experto del astillero.

La formación de los equipos de trabajo debe buscar:

- Seleccionar al personal de la organización con capacidad real de cambiar las sistemáticas de trabajo. No siempre se trata del máximo responsable jerárquico de un área.
- Seleccionar al personal con conocimiento profundo de la problemática que se va a abordar.
- Seleccionar al personal con apertura al cambio, orientación al trabajo en equipo y compromiso con la transformación.

3.5.- DESARROLLO DEL MODELO DE TRABAJO

Los aspectos vistos hasta ahora son de aplicación para múltiples iniciativas dentro de las diferentes áreas funcionales de cualquier astillero, como ingeniería, compras, producción, etc.

A partir de este momento nos centraremos en la función de Producción, y específicamente en el área de Fabricación.

Ya se ha visto en el capítulo anterior el proceso tradicional de construcción de un buque, que sería de aplicación a un gran número de astilleros.

Hoy en día el proceso de construcción de un barco, aunque depende del astillero en que se construya y del tipo de buque, de modo genérico puede decirse que se divide en tres grandes áreas:

- Fabricación
- Montaje
- Pruebas

Básicamente la parte de Fabricación hace referencia a los procesos de elaboración propia que se desarrollan en los talleres (Elaboración y Previas, Prefabricación, Tubería y Módulos, Prearmamento, Cabinas de Pintura y Chapa Fina o Habilitación) y las tareas de ensamblaje de los diferentes productos intermedios que se van

integrando para formar el buque (previas, conjuntos, sub-bloques, bloques, prearmamento, etc.).

El área de Montaje se encarga de acometer los procesos productivos realizados en las fases de montaje en grada, armamento a flote y entrega.

Por último el área de Pruebas se encarga de garantizar para los diferentes productos intermedios, componentes y equipos fabricados y montados la verificación y validación de los mismos de forma que se asegure el cumplimiento de los requisitos y/o especificaciones cuya comprobación se acuerda con el Cliente, generalmente a través de las pruebas de fábrica⁸⁴ (FAT), en el muelle o en puerto⁸⁵ (HAT) y finalmente las pruebas de mar⁸⁶ (SAT).

Desde el punto de vista de las normas de Calidad ISO⁸⁷ y PECAL⁸⁸ aplicables en el Contrato con el Cliente, con este proceso de V&V⁸⁹ se trata de “asegurar” que:

1. el Diseño realizado cumple los requisitos y/o especificaciones del Contrato (Verificación del Diseño y Desarrollo según ISO PECAL)
2. el Producto, realizado conforme al Diseño, cumple con los requisitos y/o especificaciones del Contrato (Verificación del Diseño y Desarrollo según ISO PECAL).
3. el Producto, realizado conforme al Diseño, cumple con los requisitos y/o especificaciones del Contrato que describen el uso de dicho producto (Validación del Diseño y Desarrollo según ISO PECAL).

Sin ser una división completamente pura, podemos decir que la parte de Fabricación incluye flujos de trabajo reales mientras que la parte de Montaje incluye flujos de trabajo “virtuales”.

⁸⁴ Factory Acceptance Test

⁸⁵ Harbour Acceptance Test

⁸⁶ Sea Acceptance Test

⁸⁷ International Organization for Standardization. www.iso.org

⁸⁸ Las normas PECAL son publicaciones que especifican los requisitos del Ministerio de Defensa de España (requisitos OTAN) para la gestión de la calidad que deben cumplir los suministradores en el cumplimiento de los contratos de Defensa. Los requisitos de las normas PECAL son una combinación de los requisitos de la norma ISO 9001 más los requisitos específicos OTAN.

⁸⁹ Verification & Validation

En el primer caso, el material va avanzando a lo largo del proceso de elaboración, desde un puesto de trabajo a otro. Este es el caso de la elaboración del acero, de la fabricación de tubería o de las elaboraciones de calderería.

En el segundo caso, son los materiales y los equipos de operarios los que se desplazan a una determinada área física del buque o producto intermedio a realizar un trabajo.

Como se indicaba anteriormente, esta división no es pura ya que dentro del ámbito de Fabricación también se incluyen los trabajos de prearmamento en bloques, que responden a la lógica de flujos virtuales.

3.5.1.- Fabricación estructural del buque

3.5.1.1- Visión general del proceso

Estas pautas se desarrollan bajo el supuesto tradicional de la división del buque en bloques. A modo de resumen puede decirse que los principales pasos que se dan en la fabricación estructural de los bloques son:

- Corte de chapas. Los talleres de elaboración de acero reciben las chapas del parque de materiales (chapas y perfiles) y, mediante las máquinas de corte, se cortan estas chapas para formar las piezas básicas de paneles, previas y piezas sueltas que servirán para empezar a formar los productos intermedios.
- Corte de perfiles. Al igual que en el caso de los paneles, se cortan los perfiles (mediante un robot de corte) que se integrarán en previas y paneles.
- Fabricación de previas. Incluye tanto la elaboración de conjunto de piezas estructurales utilizando líneas automatizadas como elaboración de previas de manera manual.
- Fabricación de paneles. Incluye tanto la elaboración automatizada de paneles como la elaboración manual.
- Fabricación de sub-bloques. Mediante la incorporación de previas, paneles y piezas sueltas, se configuran los sub-bloques.

- Fabricación de bloques. Se arman los bloques mediante la unión de sub-bloques.

A partir del inicio de la fabricación de sub-bloques comienza en solape con la incorporación de elementos de prearmamento.

Estos trabajos pueden agruparse bajo dos grandes áreas:

- Taller de Elaborado, que realiza el corte y conformado de previas y paneles en línea.
- Taller de Prefabricado, que recibe previas y paneles en línea de elaborado así como piezas sueltas para elaborar previas y paneles fuera de línea, fabrica los sub-bloques y los bloques.

3.5.1.2- Análisis del flujo de valor

Al abordar el análisis del flujo de valor del proceso de fabricación de bloques (estructura), es necesario definir e identificar:

- Quién es el cliente
- Qué es el valor para el cliente
- Cómo fluye el valor hacia el cliente, identificando a su vez los despilfarros del proceso
- Flujo de valor futuro.

Una de las primeras realidades que es necesario tener en cuenta es que la Prefabricación del acero es el cliente de la Elaboración del acero. Esta afirmación, que puede parecer trivial, no lo es tanto al iniciarse en el análisis de los flujos de valor.

Si vemos la fabricación estructural desde los ojos de la Prefabricación, es desde aquí desde donde debemos definir el valor. Dicho de otra manera, es Prefabricación quien define qué es lo que necesita y es Elaboración quien se lo proporciona.

Podemos definir el valor de una forma muy simple como:

$$\text{Valor} = \frac{\text{Utilidad}}{\text{Coste}}$$

Entendemos por utilidad, expresado de manera sencilla, aquello que satisface al cliente. Para una misma utilidad, cuanto menor sea el coste que debe soportar el cliente, mayor será el valor que recibe.

Para la prefabricación, la utilidad que le proporciona la elaboración viene determinada, entre otras cosas, en base a:

- Geometría correcta de las piezas.
- Calidades del material de acuerdo con las especificaciones.
- Calidades adecuadas de las soldaduras, repasado de cantos y aristas, etc.
- Identificación correcta de las piezas.
- Suministro en el momento adecuado y en la cantidad necesaria.

A su vez, en la medida que los aspectos anteriores no se encuentren dentro de los niveles demandados por la prefabricación, los costes de este taller se incrementarán, con lo que se reducirá el valor aportado.

Podemos hacer una gran división en los factores de valor de Prefabricación:

- Cumplimiento de características técnicas de las piezas.
- Suministro de material.

El primer conjunto de factores es una condición fundamental para el proceso de fabricación. Este es uno de los factores que tradicionalmente se evalúa y controla, siendo siempre susceptible de mejora.

En el análisis transversal de los flujos de material entre elaboración y prefabricación, se detecta que el primer punto sobre el que debe incidirse es sobre el segundo ya que es el que se determina que tiene un mayor impacto sobre el plazo total de la construcción del buque.

Una práctica habitual consiste en que el taller de Elaboración corte todo el material correspondiente a un bloque (chapas y perfiles), trabajando de manera continua, ininterrumpidamente. A continuación elabora las previas y paneles en línea y luego las envía a los talleres de Prefabricación.

Si miramos un poco más en detalle este proceso, vemos que en los procesos de cabecera de corte de chapas y perfiles se cortan todas las piezas según los anidados⁹⁰ recibidos de Ingeniería. Los destinos de estas piezas pueden ser:

- Previas en línea (taller de Elaboración)
- Paneles en línea (taller de Elaboración)
- Previas fuera de línea (taller de Prefabricación)
- Paneles fuera de línea (taller de Prefabricación)
- Piezas sueltas a bloque, sub-bloque (taller de Prefabricación)
- Piezas sueltas a grada⁹¹ (Grada de construcción)

Tanto las previas como los paneles en línea, a su vez, tienen como destino los sub-bloques que se elaboran en el taller de Prefabricado.

Estos flujos de material se realizan tradicionalmente mediante grandes lotes de transferencia, muy condicionados por el espacio disponible en los talleres de Elaboración, por sus medios de elevación y por los medios de transporte.

En el escenario ideal, estos flujos de material deben estar regulados por Prefabricación. La orientación al cliente de Elaborado, centrado en aportar valor a su cliente, debe ser la de proporcionar aquello que Prefabricación necesite.

Sin embargo, una de las situaciones que se presenta habitualmente es que Prefabricación no recibe las piezas en el orden que necesita para fabricar el bloque o que Prefabricación no sabe cuáles son las piezas que va a recibir. Este es un escenario de fabricación tradicional tipo “PUSH”, donde el suministrador proporciona lo que él considera adecuado enviar en función de la optimización de sus propias instalaciones.

La regulación de los flujos de material desde Prefabricación demanda un sistema de fabricación tipo “PULL”, donde Prefabricación atrae lo que necesita en cada momento. Este enfoque debe llevar a Elaboración a estar realizando en cada momento únicamente aquello que demanda la Prefabricación.

⁹⁰ En los astilleros se suelen conocer como “nestificados”, proveniente de la palabra inglesa nesting

⁹¹ Suponiendo que se construye en grada, podría ser también en dique.

Uno de los aspectos que no hay que descuidar es el nivel de stock de producto en curso. Si nos fijamos por un momento en el corte de chapas, después de haber cortado una chapa podemos tener piezas que van a un panel o una previa en línea, a un panel o una previa fuera de línea, piezas sueltas, etc. Podemos haber cortado estas piezas y, sin embargo, no haber cortado las piezas necesarias para fabricar el panel base (primer panel necesario en prefabricación, sobre el que se arma el sub-bloque). Todas las piezas que no hemos cortado y por tanto no están disponibles cuando hace falta, van a generar un stock. Este stock puede mantenerse en el taller de Elaboración o en taller de Prefabricación, mientras haya disponibilidad de espacio.

Una de las constataciones al analizar el proceso es que, si no se elabora teniendo presente la necesidad de prefabricado desde el primer instante, se incrementa el nivel de stock, tanto en Elaboración como en Prefabricación, con los consiguientes costes asociados, como mínimo:

- Coste de capital
- Coste de medios de almacenamiento
- Coste de localización y trazabilidad del material

Por tanto, las características que debe reunir el modelo de trabajo deben estar guiados por principios Lean:

- Producir aquello que necesita el cliente (PULL).
- Hacerlo eliminando las ineficiencias del proceso como los stocks, defectos de calidad, etc.
- Mantener un flujo continuo de valor, evitando tener piezas paradas durante el proceso

3.5.1.3- Modelo de sistema productivo

Como se ha indicado en los apartados anteriores, la primera demanda que tenemos que satisfacer es la de elaborar el acero en el orden⁹² en que lo necesita la prefabricación del mismo.

Al abordar este problema, se plantea la necesidad de secuenciar el trabajo de prefabricación de un bloque, indicando el orden en el que se prefabrica el bloque y, a partir de ahí demandar a Elaboración que elaboren todos los elementos siguiendo ese orden.

Llegados a este punto es necesario determinar el nivel de detalle que es necesario proporcionar a esta secuencia. En el máximo nivel de detalle, es necesario indicar el orden en el que se incorporan cada una de las piezas del bloque. En el otro extremo se encuentra la definición de la secuencia de incorporación de sub-bloques.

Una solución de compromiso entre ambos extremos es introducir y definir un nuevo producto intermedio inexistente hasta la fecha que ha venido a denominarse como grupo de prefabricación. Los grupos de prefabricación son conjuntos de piezas, previas o paneles que se incorporan en un mismo marco temporal (orientativamente, 2 o 3 días) al bloque o sub-bloque. La secuencia de incorporación de grupos de prefabricación se encuentra condicionada por las secuencias de soldadura y las limitaciones geométricas del montaje.

El orden de estos grupos de prefabricación, en buena medida, es secuencial por lo que se debe trabajar bajo esa premisa: no se puede montar el grupo 2 sin tener montado previamente el grupo 1, por tanto no servirá de nada cortar el grupo 2 si previamente no se ha cortado el grupo 1.

Cuando se rompe la secuencia de trabajo marcada por los grupos de prefabricación, es altamente probable que estemos generando stock porque no estamos realizando el trabajo que es necesario en un determinado momento del proceso constructivo.

⁹² Generalmente el óptimo local de las ingenierías a la hora de realizar el anidado de las piezas de un bloque es el máximo aprovechamiento del material asignado (chapas y perfiles), sin tener en cuenta que hay que cortar primero las piezas que se van usar primero, pues a veces eso incrementa el porcentaje de sobrante de materia prima

Si se revisa el proceso desde el principio, Elaboración debería cortar en primer lugar las piezas del grupo 1. A continuación, debería enviar las piezas de los paneles y previas en línea del grupo 1 a las estaciones correspondientes, mientras que debería enviar las piezas del grupo 1 correspondientes a previas y paneles fuera de línea al taller de Prefabricación. Una vez realizado esto, se comenzaría el proceso con el grupo 2, y así sucesivamente hasta la finalización de todos los grupos de prefabricación que componen un bloque.

Esta sistemática aquí propuesta tiene un especial impacto tanto en la reducción de los tiempos totales de fabricación de bloques, como en el material de fabricación en curso.

3.5.1.4- Funciones que soportan el modelo: Ingeniería de Producción

La Estrategia Constructiva (EC) es el soporte fundamental de esta sistemática de trabajo. La estrategia constructiva es la herramienta que permite definir los grupos de prefabricación y su orden de incorporación para la fabricación del bloque. Debe definirse en colaboración estrecha con el personal del taller de Prefabricación, pues será quien lleve a cabo las actividades y trabajos programados.

La definición anticipada de la estrategia constructiva es fundamental para:

- Orientar el diseño a la producción. Diseño de Detalle debe concentrar sus esfuerzos en proporcionar la información de manera que se posibilite el trabajo con esta metodología.
- Establecer los paquetes de trabajo que se lanzarán a Producción.
- Preparar el suministro de material según el orden preestablecido.
- Desarrollar la Programación de las actividades y trabajos, asignando y nivelando recursos y marcos temporales de ejecución.

Por otra parte, también debe ser cometido de la estrategia constructiva integrar la sistemática de trabajo en el ámbito del acero con la sistemática de trabajo en el ámbito del prearmamento.

Esta tarea de secuenciación, a su vez, debe tener soporte en las órdenes de trabajo. Las órdenes de trabajo son de vital importancia porque son los instrumentos para la gestión de los materiales, el presupuesto, los recursos, los plazos y el seguimiento del proyecto. La orden define qué debe hacerse, quién debe hacerlo, cuándo tiene que hacerse y con qué. Por tanto, es necesario desarrollar una estructura de órdenes de trabajo que soporte el desarrollo del trabajo dentro del marco del modelo de sistema productivo definido.

3.5.1.5- Funciones que soportan el modelo: Diseño de Detalle

Dentro de la ingeniería de detalle, es el área de estructura quien tiene el papel protagonista dentro del ámbito de la fabricación del acero. Debe dar soporte a la sistemática de trabajo definida. Para ello, es necesario que desarrolle sus tareas de diseño en base a una estructura de producto que soporte este modelo.

Estructura de producto

La definición de grupos de prefabricación puede entenderse como un nuevo nivel dentro de la descomposición del bloque, como producto intermedio.

El árbol de productos intermedios, tradicionalmente se ha entendido principalmente como una desagregación física del producto, asumiendo ciertas agrupaciones de piezas elementales para la formación de previas, paneles, conjuntos y sub-bloques. La definición de grupos de prefabricación lleva a incluir, de manera indirecta, el orden de incorporación de elementos dentro de la definición de este árbol de producto.

Este árbol de producto debe recoger los grupos de prefabricación. Esto permite estructurar el diseño según el método constructivo seleccionado. Por otra parte, esto facilita la asociación de piezas a grupos, facilitando todos los procesos posteriores de programación.

Anidado de chapas

Otro de los aspectos del diseño en el que debe ponerse especial interés para su monitorización es el anidado de las piezas en las chapas. El objetivo a perseguir es que en cada chapa únicamente se aniden las piezas de un grupo.

Pero esto es, inicialmente, algo complejo. Cuando se está trabajando con unas dimensiones de chapa estándar para el sector, esto suele implicar automáticamente un incremento en el porcentaje de material desaprovechado. En general, cuanto más se introduzca la división por destinos/procesos, más probable es que se incremente este tipo de despilfarros.

Los grupos de prefabricado, a su vez, pueden contener piezas de diferentes espesores y calidades, por lo que puede ser necesario cortar varias chapas para disponer de todas las piezas de un grupo determinado.

Si estableciésemos un flujo de trabajo completamente Lean, las chapas deberían de ser suministradas exactamente de la dimensión necesaria para albergar todas las piezas de un mismo grupo que tengan el mismo espesor y calidad del acero y siempre dentro de las limitaciones dimensionales de las máquinas de corte.

No obstante, mientras no se de ese salto cuántico para un astillero, de integración con sus proveedores, uno de los posibles caminos alternativos es buscar la ordenación de las piezas dentro de las chapas, de tal manera que todas las piezas del grupo 1 se encuentren en la parte inicial de la chapa, las del grupo 2 en la intermedia y así sucesivamente. De esta manera, cuando el número de piezas de un determinado grupo no fuese suficiente para completar un anidado, se facilitaría la clasificación y manipulación de las piezas resultantes al poderse seleccionar todas de manera conjunta.

Es necesario analizar cuidadosamente el volumen de material sobrante con visión del bloque completo. Debe buscarse la optimización del aprovechamiento del material equilibrado con el impacto en los procesos de producción.

Para ello deben tenerse en consideración lo siguiente:

- Cuando se genera un sobrante de material, este puede volver a ser utilizado para el corte de otra pieza.

- Cuando el sobrante de material no se utilice para otra pieza, cuanto mayor sea la dimensión, mayor valor de reventa tendrá, ya que podremos venderlo como recorte de material y no como chatarra.

Cuando observamos el anidado de material atendiendo únicamente a una chapa, buscando optimizar chapa a chapa (optimo local), podemos estar penalizando el proceso desde el punto de vista global. Cuando buscamos el anidado de material observando todo el bloque, se abre la posibilidad de mantener el mismo nivel de aprovechamiento de material pero minimizando el impacto en el proceso. Esta problemática debe ser estudiada cuidadosamente por el área de Diseño.

3.5.1.6- Funciones que soportan el modelo: Gestión de la Producción

La función de Gestión de la Producción tiene tres importantes misiones en una implantación Lean de este tipo:

- Realizar la programación detallada de cada uno de los talleres.
- Recopilar toda la información necesaria para mantener el seguimiento periódico a través de indicadores o KPI's⁹³.

El modelo de trabajo, tal y como se ha venido describiendo hasta ahora, está basado en la secuenciación de las tareas desde una perspectiva técnica. Es necesario en este momento añadir una visión organizativa.

Los grupos de prefabricación determinan la carga de trabajo que se va a lanzar a los talleres. Por otra parte, la tasación de dicha carga de trabajo está asociada a la preparación de las órdenes de trabajo. Una vez cuantificada la carga de trabajo, es necesario analizar los recursos disponibles para dimensionarlos adecuadamente y cumplir con los plazos establecidos, vigilando las relaciones en todos los puntos de la cadena. Estos Grupos de Prefabricación son las nuevas unidades básicas de Programación en el ámbito del acero.

Es vital desarrollar una Programación Integrada de los talleres. Si nos limitásemos al ámbito del acero, debe afrontarse una programación integrada de los talleres de

⁹³ Key Performance Indicator (KPI). Son indicadores clave del desempeño o de rendimiento de un proceso que normalmente se expresan en porcentaje.

Elaboración y de Prefabricación. El objetivo es monitorizar el estado de toda la cadena de producción e implantar soluciones allí donde surjan los problemas.

A modo de ejemplo, no tiene sentido incrementar la presión en el corte del acero si nos hemos quedado sin capacidad de prefabricación para absorber dicho aumento. Únicamente estaremos incrementando el nivel de material almacenado a la salida del taller de elaboración o en la entrada del de prefabricación, sino en un almacén temporal intermedio. Es decir estamos incrementando de una manera considerable el inventario en curso.

Es función de esta Programación Integrada monitorizar los recursos disponibles, evaluar el rendimiento y redistribuirlos atendiendo al impacto global del proyecto.

El escenario objetivo pasa porque Prefabricación establezca la “planificación” de Elaboración basándose en un sistema PULL.

A modo de ejemplo, cuando Prefabricación vea que está a punto de finalizar un bloque y que le va a quedar una celda disponible, debe demandar a Elaboración el material del siguiente bloque para esa celda. Desde este punto de vista, basándose en una secuencia preestablecida, Elaboración tiene que concentrarse en reducir los tiempos de respuesta desde que Prefabricación lanza la demanda hasta que le suministra el material perfectamente elaborado.

Idealmente, podríamos estar hablando de un sistema de tarjetas kanban⁹⁴ fluyendo por el astillero. No obstante, en los inicios de la implantación, Gestión de la Producción lanza el inicio del corte del acero, monitorizando toda la cadena de fabricación y montaje.

Por otra parte, es esta Programación Integrada quien materializa el ritmo de la producción basado en el TAKT TIME⁹⁵.

⁹⁴ Ver nota al pie en la página 39

⁹⁵ El concepto de TAKT TIME nos sirve para ajustar el ritmo de la producción a la demanda. Ajustarse a la demanda implica también entregar el producto en la medida demandada y cuando se demanda, lo que nos lleva a plantear el ritmo de producción y su adaptación a la demanda, incluso en el caso de que ésta fluctúe. Determinar este ritmo –el tiempo de tacto o takt time– es en teoría sencillo: basta con dividir el tiempo disponible para operar, por la producción prevista a obtener (que es la que se supone que satisface la demanda)

Cuando no se cuenta con las herramientas informáticas para dar soporte a esta cantidad de información, es un reto importante poner en marcha esta sistemática de Programación, ya que:

1. Es necesario establecer los cauces adecuados para que fluyan los valores de tasación correctos hacia el programador.
2. Es necesario tener un conocimiento preciso de los recursos disponibles, en base semanal, en cada uno de los talleres que se están programando de manera integrada.
3. Es necesario estar completamente integrado con las funciones de Planificación, que delimitan el marco temporal macro del proyecto.
4. Es necesario implantar las herramientas informáticas que permitan programar la producción teniendo en cuenta todos los datos anteriores, actualizándose de manera dinámica y permitiendo visualizar escenarios futuros mediante la proyección de los actuales.

Por otra parte, la función de Gestión de la Producción debe recopilar la información que permita monitorizar el estado del proyecto e integrarlo en las funciones de Programación.

3.5.1.7- Funciones que soportan el modelo: Aprovisionamiento

Los planos y los materiales son los suministros base para que este modelo de sistema productivo pueda implantarse.

La función de aprovisionamiento debe garantizar en todo momento el suministro de materiales necesarios orientados a estos grupos de prefabricación anteriormente descritos, manteniendo la disponibilidad y despachando material según la secuencia establecida de entrada a las máquinas de corte.

La función de aprovisionamiento, para cumplir con esta misión, debe trabajar tanto con los proveedores como con la función de ingeniería. Una de las dificultades en el aprovisionamiento se encuentra en que el proyecto no está cerrado cuando se comienzan los trabajos en producción y, por tanto, no está cerrado el diseño cuando se inicia la petición de materiales a los suministradores.

Es necesario que la información de la estimación de material, que se realiza en las etapas iniciales del proyecto, se actualice con cantidades consolidadas según se vaya finalizando el diseño de detalle. Las funciones de ingeniería y aprovisionamiento deben mantener una comunicación estrecha y fluida de manera permanente para ir dando respuesta a estas actualizaciones.

Por otra parte, el objetivo ideal es que el suministro de material se realice en base a estos grupos de prefabricación, dando entrada al material ya clasificado en el astillero. Esto implica un alto grado de integración con los proveedores.

Como punto intermedio, este proceso de clasificación del material puede realizarse en los almacenes del propio astillero, orientando el almacenamiento a los lotes que está demandando el cliente (Elaboración, en este caso) en lugar de orientarlo solamente a una clasificación y menado⁹⁶ por dimensiones, espesores, calidades y tipos de material. Este incremento de necesidad de clasificación implica una mayor necesidad de espacio de almacenaje por lo que, manteniendo la sistemática de trabajo en el tiempo, la propia dinámica del proceso apunta a reentender la relación con el proveedor.

3.5.2- Prearmamento

3.5.2.1- Visión general del proceso

Dentro de las tareas de Fabricación también se incluyen los trabajos de prearmamento que se desarrollan en los bloques. Estos trabajos de montaje de prearmamento a su vez están soportados por los trabajos de elaboración de armamento.

La fase de fabricación de bloques comienza con el corte del acero de cada uno de los bloques y finaliza cuando el bloque se monta en la grada. Dentro de esta fase, en cada uno de los bloques podemos encontrar etapas claramente diferenciadas:

⁹⁶ En algunos astilleros se denomina menar al proceso de clasificación de la materia prima utilizada por tipo de elemento en base a su material, forma, espesor, calidad, etc. Mena por tanto es un tipo de almacén intermedio donde se almacenan estos materiales.

- Elaboración del acero, que incluye todos los procesos de corte y conformado de los materiales que compondrán la estructura.
- Prefabricación de la estructura, donde se ensamblan las piezas elementales de acero para ir formando, sucesivamente, previas, paneles, sub-bloques y bloques.
- Elaboraciones de prearmamento, donde se realizan todas aquellas tareas de elaboración previas al montaje de prearmamento sobre los bloques. Estas tareas incluyen fabricación de tuberías, conductos de ventilación, etc.
- Prearmamento fase 1. Sobre la estructura conformada durante la prefabricación se empiezan a montar elementos de armamento que implican trabajos en caliente (corte, soldadura).
- Chorreado y pintado. Se realizan las tareas de limpieza y protección (pintado) del acero.
- Prearmamento fase 2. Instalación de componente, como pueden ser equipos, que por sus características no se puede instalar antes del proceso de granallado ya que se deteriorarían.

Previo a estas etapas y para dar soporte a estas tareas de montaje, es necesario realizar trabajos de elaboración en talleres. Este es el caso de los trabajos de elaboración de tubería, fabricación de polines, ventilación, etc.

El Prearmamento fase 1 se solapa con las tareas de prefabricación de la estructura. De esta manera, el prearmamento se inicia en cuanto se alcance un nivel de prefabricación suficiente para incorporar el primer elemento, generalmente a nivel de sub-bloque.

3.5.2.2- Análisis del flujo de valor

Siguiendo con la relación establecida en el área del acero, el Prearmamento fase 1 es cliente de Prefabricado.

El trabajo de prearmamento debe comenzarse cuando aún no se ha finalizado la prefabricación del bloque. Esto reporta la ventaja de poder realizar trabajos en la posición invertida de los bloques y sub-bloques. Para ello, es necesaria una correcta

coordinación entre la Prefabricación y el Prearmamento, ya que serán los primeros los que den la entrada a los segundos.

Desde el punto de vista del prearmamento fase 1, uno de los principales trabajos es la instalación de tubería. Buscando reducir los tiempos totales de bloque, será necesario analizar la disposición de tubería de cada uno de los bloques y relacionar adecuadamente la secuencia de montaje de tubería con la secuencia de prefabricación del bloque para finalizar el primer lugar aquellas zonas por las que se quiera comenzar a instalar tubería, siempre dentro de los límites técnicos del proceso de prefabricación.

Acompañando a los trabajos de tubería, se encuentran el resto de trabajos de montaje de calderería. Estos trabajos se realizan muchas veces en espacios físicos coincidentes, por lo que es necesario coordinar muy bien la realización de estas tareas.

A su vez, el montaje establece la demanda sobre los talleres de elaboración de prearmamento y también sobre el aprovisionamiento, ya que aquí es habitual recibir elementos cuya fabricación se realiza en empresas situadas en el exterior del astillero.

A modo de ejemplo, si tomamos como referencia el montaje de la tubería, para el cliente el valor se aporta realmente cuando un tubo está perfectamente montado. Para ello, lógicamente es requisito indispensable que, primero la estructura esté armada y segundo que el tubo esté correctamente elaborado.

Uno de los principales puntos de despilfarro o ineficiencias del proceso se encuentra en el desajuste temporal entre la disponibilidad del tubo y la disponibilidad de la estructura. La elaboración de tubería en grandes lotes que incluyen todos los tubos de un bloque o de un sub-bloque, como tradicionalmente ha venido realizándose en los astilleros, hace que la mayor parte de ellos se tengan que fabricar antes de que efectivamente esté disponible la parte de la estructura sobre la que se van a montar. Esto incrementa el material en curso, los niveles de stock y reduce la flexibilidad en la respuesta, requiere de transporte hacia el lugar

en el que se va a almacenar, labores de gestión, movimiento de personas para su control, etc.

A partir de aquí, se establecen relaciones cliente-proveedor en cadena con el resto de los elementos de prearmamento fase 1.

Una vez que el bloque está ya soldado y con los elementos de prearmamento 1 ya incorporados, el bloque se desplaza a las cabinas de chorreado y pintado.

Las cabinas son el cliente de prearmamento fase 1. En escenarios de saturación de la planta con serias limitaciones en la disponibilidad de las cabinas, el nivel de atracción de la cabina puede hacer que se finalice la fase de prearmamento 1 sin haber finalizado el alcance de trabajo que había previsto. En estos casos, el trabajo restante se deriva a fases posteriores, donde los costes de ejecución se incrementan considerablemente.

Una vez que el bloque ha sido pintado, se inicia el prearmamento en su fase 2, que es el cliente de las cabinas y del prearmamento fase 1.

Para entender esto, veamos otro ejemplo y pensemos en el montaje de un equipo. Para poder montar ese equipo, posiblemente necesitemos previamente tener un polín⁹⁷ soldado y el equipo embarcado. En este caso, no hay una relación de solape entre los trabajos de prearmamento fase 1 y los de fase 2, ya que las cabinas funcionan como un elemento de secuenciación del trabajo, rompiendo y finalizando el prearmamento en su fase 1.

Desde el punto de vista del prearmamento fase 2, es fundamental la coordinación en el avance de los trabajos, buscando la eliminación de los tiempos de espera, y el suministro en tiempo de los elementos a instalar. Los desacompasamientos en estos flujos de suministro son uno de los grandes problemas a evitar.

3.5.2.3- Modelo de Sistema Productivo

Los trabajos de montaje en un bloque se regulan bajo lo que ha venido a denominarse en esta investigación como flujos de trabajo virtuales.

⁹⁷ Se entiende por polín una bancada o basamento firme que sirve de elemento soporte de un equipo o máquina para su unión con el barco.

Estos flujos de trabajo virtuales son los trabajos que realizan diferentes grupos de especialistas, de manera secuenciada en el tiempo, sobre un mismo espacio físico.

Es decir hasta ahora era el producto el que se movía a lo largo de la cadena productiva del astillero atravesando los diferentes procesos de adición de valor sobre los productos intermedios, sin embargo ahora es el producto el que permanece inmóvil y son los procesos los que pasan a través de él añadiendo valor.

La regulación de los trabajos en las diferentes áreas del bloque se presenta como una de las claves para acompasar la producción y los flujos, desde las elaboraciones y la prefabricación de la estructura.

La propuesta de esta investigación para la elaboración y montaje del prearmamento del buque y la manera más óptima que se propone para afrontar este problema es, al igual que en el caso de la estructura con los grupos de prefabricado, dividiendo los bloques en áreas de prearmamento. Estas áreas son divisiones del bloque que se pueden tratar como unidades independientes a las que direccionar trabajos y recursos. A su vez, se puede establecer una relación de precesión entre ellas.

Es necesario, por tanto, establecer áreas de prearmamento durante los trabajos en posición invertida y durante los trabajos en posición normal.

Las áreas de prearmamento que se definen en posición invertida son las que se relacionan directamente con los grupos de prefabricación anteriormente propuestos. De esta manera, puede trazarse la relación biunívoca que secuenciar la programación para establecer qué grupos de prefabricación deben estar finalizados para poder habilitar el inicio de los trabajos en una determinada área.

La relación entre las áreas de prearmamento en posición invertida y los grupos de prefabricación se deben analizar de manera conjunta, siendo una restricción a considerar dentro de la secuenciación de los grupos de prefabricación, siempre que técnicamente sea viable.

En cada una de estas áreas puede haber trabajos de diferentes tipos, desde montaje de tubería hasta montaje de calderería. Es necesario establecer un marco general

de referencia para asignar trabajos a los diferentes momentos temporales de la vida del área, al modo de etapas como en la fabricación estructural del bloque.

Por otra parte, es necesario la correcta secuenciación y programación de las tareas a realizar en estas áreas entre sí. Habrá áreas que permitirán realizar trabajos en paralelo entre ambas áreas y habrá otras áreas que obligarán a un desarrollo secuencial ya que es necesario finalizar trabajos en una de las áreas para iniciarlo en las otras. Esta clasificación es fundamental para el análisis de la asignación de recursos.

Se propone en esta tesis que a partir de ahora las áreas de prearmamento hagan las veces de paquetes de trabajo. De esta manera, a partir de este momento ya no tiene sentido hablar de la tubería del bloque o de la tubería del sub-bloque, sino que debe de hablarse de la tubería del área 1, de área 2, etc. Esta nueva paletización⁹⁸ o paquetización obliga a trabajar con lotes más pequeños y a preparar los talleres para trabajar con estos lotes más pequeños.

Cabe destacar las similitudes con los grupos de prefabricación en el caso de la fabricación estructural del bloque. En ambos casos, al secuenciar los trabajos y modificar el tamaño de los paquetes de trabajo, se está caminando hacia el empleo de lotes mucho más pequeños con los consiguientes beneficios respecto a producto en curso, stock y plazos.

3.5.2.4- Funciones que soportan el modelo: Ingeniería de Producción

El trabajo principal de Ingeniería de Producción para soportar este nuevo modelo de trabajo es la definición de la Estrategia Constructiva. Este trabajo de definición de la estrategia pasa por la definición de las nuevas áreas de prearmamento.

Las áreas de prearmamento conceptualmente deben ser divisiones geográficas del bloque cuya concepción busque facilitar el trabajo de todas las especialidades. Ciertamente no siempre es posible establecer una división que favorezca el desempeño de todos los trabajos, por lo que es necesario priorizar una división en

⁹⁸ Se llama paletización al sistema de logística que trata de preparar los materiales que cada taller, área o departamento necesita en cada momento durante la construcción

áreas que facilite el trabajo fundamentalmente a aquellas tareas que tengan mayor impacto en el coste y en el plazo de las tareas a realizar.

Las áreas de prearmamento definidas en posición invertida, como se ha indicado anteriormente, se relacionan directamente con los grupos de prefabricación de la fabricación estructural del buque. Es mediante este vínculo como se facilita la continuidad a los trabajos del bloque, por lo que es necesario realizar un análisis integrado.

Las áreas de prearmamento en posición normal deben permitir el desarrollo de todos los trabajos, tanto los que se hacen antes del pintado del bloque como los que se realizan después.

Otra componente que no debe dejarse de lado por su especial importancia es la del tamaño del área, entendida como la cantidad de trabajo que tiene asociada. La división en áreas es una forma de división del trabajo que permite organizar de una forma estructurada y secuencial la producción. Cuanta mayor uniformidad exista a la hora de definir el tamaño de cada área, más sencillo será nivelar la asignación de recursos al bloque.

Además de lo anteriormente mencionado, es necesario buscar un equilibrio entre los tamaños máximos y mínimos del área, en función de las características de cada nuevo Proyecto de Construcción.

Igualmente es necesario que las órdenes de trabajo que se lancen a producción den soporte a esta sistemática de trabajo. Por ello, es preciso contar con una estructura de órdenes de trabajo que permita la programación de los paquetes de trabajo, la gestión de los materiales y el seguimiento del proyecto en base a estas áreas de prearmamento.

3.5.2.5- Funciones que soportan el modelo: Diseño de Detalle

En el ámbito del prearmamento, el Diseño de Detalle abarca múltiples disciplinas. El objetivo común a perseguir por todas ellas es que la estructura de producto soporte el trabajo con las nuevas áreas de prearmamento.

El nivel de desarrollo de las herramientas de diseño y sus estructuras de soporte condicionará, en buena medida, el nivel y los esfuerzos que será necesario dedicar para trabajar con las áreas de prearmamento.

El objetivo mínimo que debe perseguirse es que cada uno de los elementos se pueda ubicar físicamente en el buque para que, mediante el adecuado procesamiento de datos, sea posible asociar cada elemento al área definida. Cabe recordar de nuevo que la definición de áreas de prearmamento es una división geográfica del bloque.

La relación entre el Diseño de Detalle y la Ingeniería de Producción es de vital importancia para conseguir implantar este sistema. La asociación de elementos de diseño a áreas concretas podrá realizarse en cualquiera de las dos funciones mencionadas anteriormente, en el diseño de detalle naciendo ya en el propio diseño como un atributo, o bien realizando su asignación en ingeniería de producción a través de las órdenes de trabajo. Debe buscarse aquel ámbito que suponga un mayor impacto en la construcción, persiguiendo el menor coste para el global del proyecto.

En cualquier caso, cabe destacar que la correcta definición de la estrategia constructiva es fundamental para proporcionar soporte a esta tarea. Nuevamente es preciso recordar que esta es una de las tareas fundamentales de Ingeniería de Producción para soportar este nuevo modelo productivo.

3.5.2.6- Funciones que soportan el modelo: Gestión de la Producción

Todos los aspectos expuestos en el apartado “3.5.1.6- Funciones que soportan el modelo: Gestión de la producción” en lo que se refiere al ámbito de la estructura son de aplicación aquí. La principal diferencia radica en que en el caso del prearmamento se incrementa considerablemente los esfuerzos de programación, ya que es necesario programar un mayor número de especialidades y talleres, que deben confluir coordinadamente en el bloque.

3.5.2.7- Funciones que soportan el modelo: Aprovisionamiento

Tradicionalmente y en la mayoría de los casos, todos los equipos, componentes y materiales que se aprovisionaban fuera del astillero entraban en el mismo a través del almacén general.

En el caso que nos ocupa lo que aquí se propone dentro del ámbito del prearmamento es que los suministros de materiales y de equipos puedan fluir desde el exterior directamente al montaje o a los talleres de elaboración. Análogamente con el caso de la estructura, la relación entre ingeniería y aprovisionamiento cobra especial importancia para garantizar la disponibilidad de materiales.

La implantación de una sistemática de trabajo orientada a áreas de prearmamento debe establecer las bases para una orientación del suministro a estas áreas, de manera similar a como se planteaba en el caso de la estructura.

3.6.- IMPLANTACIÓN DEL MODELO EN PRODUCCIÓN

La definición de la metodología de trabajo, junto con sus implicaciones en el resto de funciones del astillero, ya constituye en sí mismo el arranque de la transformación Lean. Sin embargo, es mediante la implantación en Producción cuando se va a poder visualizar físicamente la aplicación de estos principios.

La definición del modelo de trabajo reflejado hasta ahora no debe ser un proceso largo o sumamente detallado. Debe ser un proceso preciso, basado en el conocimiento de la realidad del trabajo y abierto a la actualización flexible tras su primera aplicación a Producción en una base PDCA⁹⁹ o DMAIC¹⁰⁰.

3.6.1.- Implicación del personal

Durante la fase de definición de la metodología ya se ha contado con la participación del personal clave de Producción que se va a responsabilizar de llevar

⁹⁹ Plan – Do – Check – Act (Planificar-Hacer-Verificar-Actuar). El Ciclo PDCA es la sistemática más usada para implantar un sistema de mejora continua. En la norma ISO 9001 “Requisitos de los Sistemas de gestión de la calidad”, aparece mencionado como un principio fundamental para la mejora continua

¹⁰⁰ Define, Measure, Analyze, Improve, Control (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar). Es una sistemática equivalente a PDCA

a cabo los trabajos. Sin embargo, también se debe extender los principios de la sistemática de trabajo a los encargados y personal clave a pie de obra.

Para ello, una vez sentadas las bases, se revelan como sumamente útiles la realización de jornadas formativas con un amplio número de participantes combinado con la presencia en talleres traduciendo estos conceptos a la realidad concreta del trabajo. En este punto es importante la implicación del equipo Lean y el apoyo en el personal del taller más abierto al cambio.

En estos momentos iniciales de apertura al grueso del personal es importante realizar un esfuerzo comunicativo. Aquí se están sentando las bases para abrir los canales de comunicación que permitan una participación activa de todos los implicados. En estos primeros momentos es habitual que surjan debates, dudas, reticencias, etc. Los responsables de la aplicación de la iniciativa deben ser capaces de diferenciar las habituales resistencias al cambio de los problemas reales que no se habían tenido en cuenta en las fases previas.

La transversalidad de la formación también es un factor determinante. La dirección de los talleres y el personal a pie de máquina tienen que visualizarse trabajando literalmente juntos. Es una buena oportunidad para fomentar la participación, independientemente de rangos y jerarquías.

En cuanto se cuenta con un modelo de trabajo suficientemente asentado, aunque no tenga definidos todos sus detalles, y se comienza a difundir, se produce un efecto de capilaridad, trasladándose mensajes rápidamente. Es necesario comprender qué es lo que se está diciendo, si las corrientes de opinión que se están generando están basadas en el mensaje que se pretendía transmitir o si, por el contrario, este mensaje se está distorsionando. El único camino para pilotar este tipo de factores es la presencia día a día a pie de obra de equipo Lean.

3.6.2.- Fabricación de la estructura

3.6.2.1- Corte de chapas y perfiles

Partiendo de la definición de los grupos de prefabricación, es necesario comenzar el proceso definiendo en qué orden se van a cortar las chapas y perfiles. Este dato lo debe proporcionar Gestión de la Producción, que habrá analizado a través de la Programación Integrada, cual es el mejor camino para optimizar costes y plazos.

En primer lugar, la demanda de material se debe realizar de acuerdo con la secuencia establecida. Los responsables de enviar el material deben tener preparado con antelación el envío, por lo que se les debe transmitir esta lista de ordenación para que vayan anticipando trabajos. En este punto se deben controlar los tiempos necesarios entre que se solicita el material y que el material llega efectivamente, estableciendo una monitorización.

Una de las primeras inercias que es necesario romper en este punto es el trabajo por menas¹⁰¹. En el caso del corte de perfiles, por ejemplo, se podía estar realizando el corte de todos los perfiles de una misma dimensión de manera continua. Sin embargo, la orientación a los grupos demanda cortar primero los perfiles del grupo 1, que puede ser de diferentes tipos. Esto supone un incremento en las necesidades de cambio de los parámetros y ajustes de las máquinas.

La definición de grupos, no obstante, permite cierta ordenación en los tamaños de corte de perfiles al ser posible agrupar los perfiles del mismo tipo que se encuentran dentro de ese grupo.

Los cambios de configuración / utillaje de las máquinas es uno de los factores que es necesario monitorizar para comparar los tiempos de cambio con las ganancias totales en el proceso. Dicho de otro modo, se deben buscar los óptimos globales frente a los óptimos locales y, para ello, debemos mantener simultáneamente la visión global y local. Es decir hay que pensar en global, pero actuar en local.

En determinados casos, puede ser necesario realizar estudios detallados de operaciones en las máquinas para establecer sistemas de cambio rápido de utillaje, transformar tiempos de preparación interna en tiempos de preparación externa, etc. y siempre prestando atención al personal asignado a la máquina y sus tareas.

¹⁰¹ Ver nota al pie nº 95 en la página 149

Una vez realizado el corte tanto de perfiles como de chapas, es necesario clasificar el material que se ha cortado según sus destinos. En este punto tiene un alto impacto el tipo de anidado que se haya recibido en las máquinas de corte. De esta manera, si todas las piezas cortadas son de un solo grupo, estas piezas se clasificarán según su destino: previas en línea, paneles en línea, taller de prefabricado. Sin embargo, si tenemos piezas de más de un grupo, será necesario multiplicar esta clasificación por tantos grupos como se encuentren afectados.

La clasificación del material, por tanto, presenta diversas problemáticas:

- Necesidad de identificar correctamente las piezas según su grupo y destino
- Incremento temporal de las necesidades de espacio para la clasificación de material
- Incremento del uso de medios de transporte y elevación

Algunas de las posibles soluciones pasan por incrementar las frecuencias de transporte, reduciendo el tamaño mínimo de lote que es necesario transportar. De esta manera, se consigue un flujo de valor continuo, reduciendo los tiempos de espera de la pieza. Idealmente, estaríamos hablando de transportar cada pieza a su destino inmediatamente después de ser cortada. Esto puede presentar ineficiencias por lo que, nuevamente, es necesario valorar de manera global el problema local.

Buscando mantener un flujo continuo de trabajo, es importante la accesibilidad de los medios de transporte, evitando que diferentes dificultades burocráticas puedan introducir retrasos en el proceso. En este sentido, los medios de elevación y de transporte deben estar al servicio del flujo de trabajo entre el parque de chapas, los talleres de elaborado y los talleres de prefabricado, siendo estos actores los que dispongan de su utilización.

3.6.2.2- Prefabricación de paneles en línea

La propia dinámica de la definición de grupos indica el orden en el que se deben fabricar los paneles. Es necesario alimentar a las líneas de paneles con chapas y con perfiles provenientes de los procesos de corte de cabecera.

Es especialmente importante garantizar el flujo de trabajo cuando el panel que se está fabricando es el panel base sobre el que se prefabricará el bloque/ subbloque, ya que tiene impacto directo en el lead time del bloque (forma parte de su camino crítico). El responsable de la Programación del bloque deberá ser quien organice convenientemente el orden en el que se introducen las chapas en las máquinas de corte para, una vez cortadas las piezas, permitir que el material fluya de manera continua, sin esperas ni almacenajes.

En estas líneas es importante controlar que los requisitos de las soldaduras, posicionamiento de elementos, dimensiones, planicidad, etc. se cumplen según los procedimientos de calidad, ya que errores en este punto implican retrabajos en los siguientes procesos. La orientación cero defectos debe estar muy presente en todos los procesos de un sistema de producción Lean.

Por otra parte, la regulación del flujo, la toma de datos y el conocimiento exacto del estado de producción son tareas que debe incorporar el Programador dentro de sus funciones.

3.6.2.3- Prefabricación de previas en línea

Análogamente con los paneles, la propia definición de los grupos de prefabricación establece una secuenciación en los trabajos.

En un mismo grupo puede haber varias previas e incluir múltiples elementos diferentes procedentes del corte. El proceso de clasificación el material a la salida de las máquinas de corte es más laborioso que trabajando por lotes grandes, pero permite la llegada a las líneas del material ya ordenado, de tal manera que los armadores puedan comenzar a trabajar en el armado de las previas.

El responsable de la Programación debe tener en cuenta las distintas velocidades de las líneas de paneles y de las líneas de previas, así como de los trabajos que se puedan realizar fuera de línea, para establecer el orden de trabajo con los diferentes grupos y destinos.

3.6.2.4- Prefabricación de paneles fuera de línea

En este caso, se produce un flujo directo de material desde la máquina de corte hacia las áreas de prefabricación. Con intención de que el flujo de trabajo sea continuo:

- Se deben cortar las piezas según el orden del grupo
- Se debe garantizar la disponibilidad de medios de transporte para el envío a prefabricado
- Se debe garantizar la disponibilidad de espacio de prefabricación para iniciar el panel

Avanzando en el nivel de secuenciación, se pueden ordenar los paños y suministrar los perfiles posteriormente.

El flujo continuo, evitando despilfarros en el proceso, es especialmente importante cuando se trata de un panel base sobre el que se va a fabricar el sub-bloque y el bloque.

3.6.2.5- Prefabricación de previas fuera de línea

Al igual que en el caso de los paneles, se produce un flujo directo desde las máquinas de corte hacia las zonas de prefabricación, con una problemática similar a la del caso anterior.

3.6.2.6- Previas de sub-bloque

Los grupos de prefabricación que se han ido definiendo contienen un grupo de elementos que se incorporan en un momento próximo en el tiempo al sub-bloque o bloque. Estos elementos pueden ser paneles, previas o piezas sueltas.

En algunos casos, el grupo contendrá elementos se incorporan de manera independiente al sub-bloque. Puede ser que primero incorporemos un panel y, trabajando sobre este, vayamos incorporando previas. En otros casos, será necesario realizar preensamblajes de determinados elementos para incorporarlos como un conjunto al sub-bloque. Trabajar con grupos de prefabricación garantiza

que el flujo de material hacia la prefabricación del bloque seguirá el orden preestablecido en la estrategia constructiva.

3.6.2.7- Prefabricación del bloque

En el caso más general, la prefabricación del bloque se realiza por unión de sub-bloques. Los grupos de prefabricación se orientan, por tanto, a la fabricación de sub-bloques y, una vez conformados estos, se deben ensamblar los bloques según la secuencia establecida en la Estrategia Constructiva.

3.7.- ELABORACIÓN Y MONTAJE DE PREARMAMENTO

La elaboración y el montaje de prearmamento se orienta a las áreas de prearmamento. Esta es la entidad que permite dividir el trabajo del bloque en paquetes más pequeños y coordinar los diferentes trabajos.

Al afrontar el prearmamento, se produce un cambio de escenario frente a la fabricación de la estructura porque:

- Mayor número de especialidades involucradas
- Mayor número de suministradores de material (talleres de elaboración, proveedores externos) y, por tanto, mayor necesidad de coordinación en la cadena de suministro.

Desde el punto de vista del montaje, es necesario tener un equipo multidisciplinar que tiene que trabajar secuencialmente en el mismo área.

Uno de los problemas habituales durante los trabajos de prearmamento es la necesidad de coordinación con la prefabricación de la estructura y entre las diferentes disciplinas. De esta manera, todos los especialistas prefieren estar trabajando solos en un determinado espacio, sin interferencia de otros especialistas.

La definición de áreas dentro de un bloque permite establecer una secuencia técnica dentro de esa área. Una de las principales reticencias que se oponen a este planteamiento es que, a priori, parece que se reducen el número de trabajos que se

pueden realizar en paralelo, ya que no puede haber varios especialistas asignados. Esto se resuelve entendiendo la secuencia entre área.

Como se indicaba previamente, será necesario diferenciar entre aquellas áreas de trabajo que están relacionadas, es decir, en las que no se pueden comenzar los trabajos sin haberlos acabado en la anterior, y aquellas áreas de trabajo que no están relacionadas. En aquellas en las que no hay conexión, se pueden comenzar los trabajos en paralelo en caso de tener recursos. En los otros casos, se deben establecer secuencias de trabajo lo más parecidas entre áreas, de tal manera que el primer equipo de especialistas acabe en el área 1 y pasa al área 2, mientras que el segundo equipo de especialistas entra en el área 1 y así sucesivamente.

Este planteamiento permite reducir las ineficiencias por tiempos de espera en bloque, así como los tiempos muertos por interferencias entre especialistas. A su vez, permite incrementar el control sobre los trabajos del bloque.

Las elaboraciones se deben orientar precisamente a estas áreas de prearmamento. Una de las mayores dificultades se puede encontrar en la elaboración de tubería. En el escenario ideal, el taller de tubos debe fabricar la tubería del área 1, después la del área 2, después la del área 3, etc. El escenario habitual consiste en que se fabrica toda la tubería del bloque, buscando optimizar el empleo de los recursos del taller reduciendo los tiempos de cambio.

Este planteamiento de trabajo con lotes grandes hace que sea necesario comenzar con mucha más antelación la fabricación de la tubería e incrementar el tiempo que un tubo pasa en proceso y en stock. El reto se plantea en la reducción de los tiempos de cambio y en la sincronización dentro del taller de elaboración de tubería.

En los primeros pasos de la implantación, hasta que se consigue establecer las medidas que permitan orientar el flujo a las áreas, se produce una clasificación de material al finalizar la elaboración de la tubería. En esta clasificación, se paletiza la tubería en función del área de destino. Esta medida orienta el trabajo hacia las

áreas pero no soluciona el problema de trabajar contra almacén. No se debe perder de vista la necesidad de flexibilizar el flujo de elaboración.

Por otra parte, dentro de este modelo, es muy importante la disponibilidad de material, ya que al estar realizando un planteamiento secuencial, cuando se para un especialista se para la cadena.

3.8.- SEGUIMIENTO

El seguimiento y monitorización de esta sistemática es vital para el sostenimiento de todo el modelo productivo. Podemos decir que el seguimiento se articula en torno a 2 puntos:

- Reuniones, en las que se identifican, tratan, se resuelven y elevan los problemas.
- Indicadores y toma de datos

3.8.1.- Reuniones de seguimiento

Las reuniones de seguimiento son una herramienta fundamental para trasladar la sistemática de trabajo y para derribar barreras departamentales reuniendo a personas de diferentes funciones de la empresa.

A pie de obra, es necesario realizar reuniones de turno en las que se planifica qué se va a realizar a lo largo de la jornada y en las que se analiza cómo se ha desarrollado la jornada, tomando medidas para corregir desviaciones dentro de su ámbito de decisión.

A nivel de taller, es necesario realizar reuniones en las que participen responsables de las áreas de producción, ingeniería, logística, mantenimiento y aprovisionamiento, recogiendo los problemas que se han planteado a nivel semanal y buscando las soluciones en cada una de las funciones.

A nivel fabricaciones, se repite la sistemática pero con un alcance global.

Estas reuniones son la base para expandir el pensamiento Lean, por lo que no se debe descuidar su preparación ni el seguimiento de sus conclusiones. De aquí surge

una información muy valiosa para la gestión del programa, que es necesario canalizar adecuadamente. Por ello, se debe tener en cuenta:

- El objetivo de estas reuniones es detectar los problemas que surgen en producción, siguiendo el guion de la metodología de trabajo que nos hemos planteado, y resolverlos.
- El análisis de los problemas debe buscar atacar sus causas raíz, por lo que la solución última puede estar en cualquiera de las funciones de la empresa. Esto hace necesaria la participación de representantes de todas las áreas de la empresa
- El seguimiento de las acciones y su cumplimiento es importante para incrementar la confianza mutua entre los participantes
- Es necesario potenciar que cada uno de los participantes de ingeniería, producción, aprovisionamiento, logística y mantenimiento asuma como propios los problemas, incentivando una resolución proactiva de los mismos
- Este es el foro para explicar y repetir incesantemente la metodología con la que queremos trabajar. Por ello, los responsables de liderar estas reuniones deben mantener una visión del funcionamiento global del sistema, para dar una visión de conjunto sobre el encaje de cada una de las piezas.

Estas reuniones son la base diaria para trabajar con las personas.

3.8.2.- Indicadores

La toma de datos para poder medir los resultados del proceso de transformación es uno de los puntos que se deben afrontar desde el inicio. Estos indicadores deben estar relacionados con la metodología que estamos implantando y deben permitirnos identificar problemas profundos.

Al lado de los habituales indicadores de desempeño de los procesos, es importante destacar los indicadores de flujo, midiendo permanentemente el “lead-time” de las entidades que estamos utilizando como referencia (grupos de prefabricado, áreas de prearmamento, bloques, etc.). Esto es la base para constituir nuestro cuadro de mando.

Estos indicadores serán, en muchas ocasiones, lo que permita justificar la continuación del plan de transformación. Este tipo de transformaciones se realizan con una visión de largo plazo, por lo que es habitual que por el camino surjan desánimos y tentaciones de volver a trabajar según las prácticas anteriores. Los indicadores deben servirnos también para ver el camino recorrido.

CAPÍTULO IV.- ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1.- INTRODUCCIÓN

En el capítulo anterior decíamos que el objeto del caso práctico es demostrar que pueden aplicarse los métodos de fabricación *lean* tradicionalmente utilizados en el sector del automóvil, donde las fábricas son capaces de producir un coche cada minuto, a un astillero que aun dedicándose a la construcción de buques tecnológicamente complejos, utiliza métodos de fabricación tradicionales y produce un único buque cada 28,5 meses en el caso concreto que nos ocupa dentro del marco de esta investigación.

Del análisis de los resultados que se presentan a continuación se desprende que no solo es deseable sino imprescindible para la competitividad de la construcción naval implantar Lean como modelo de gestión.

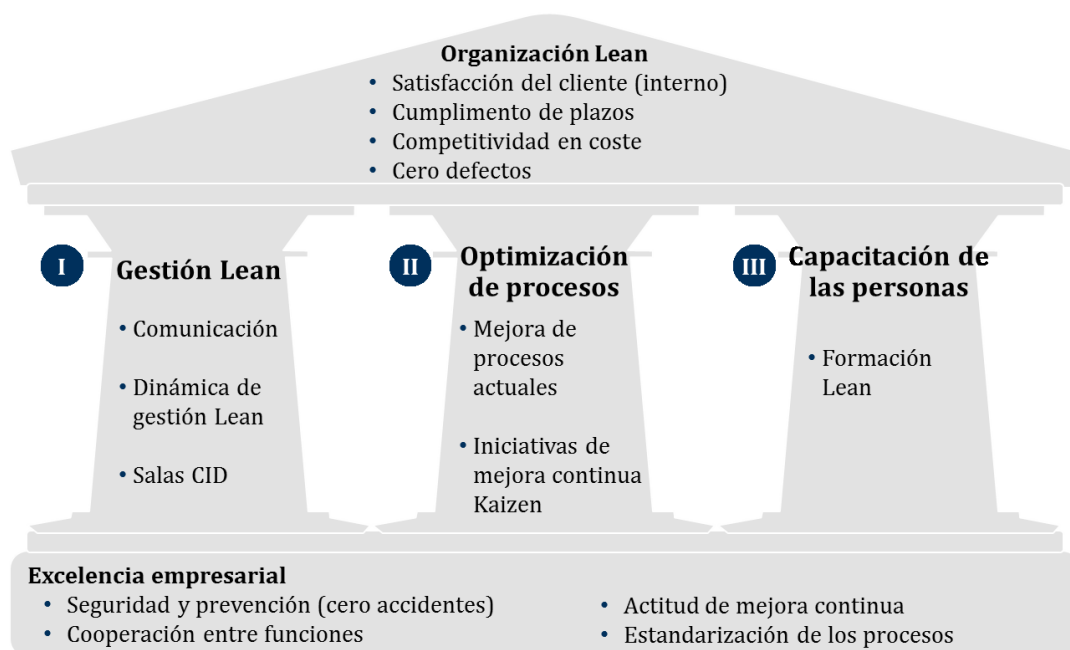


Ilustración 28. Pilares de una organización Lean (Fuente: Academia Lean Navantía)

El modelo de gestión que se está implantando en la actualidad se fundamenta en tres pilares básicos, como los que se observan en la ilustración anterior.

El primero de ellos es la dinámica de gestión Lean, que sirve como facilitador para crear un entorno de trabajo donde se puedan poner en práctica los principios *lean* ya vistos durante el desarrollo de esta tesis. Sirve para dar soporte y ayudar a la

implantación de la metodología Lean en los nuevos proyectos de construcción. Además vale como canalizador de la información clave de los proyectos, crea el espacio físico de trabajo y el entorno donde trabajan los equipos multidisciplinares orientados a un determinado producto o a resolver un determinado problema. Pero sobre todo crea el marco donde se trabaja en equipo y se comparte la información necesaria para resolver los problemas que aparecen durante la construcción y para la toma rápida de las posibles soluciones a los problemas encontrados.

El segundo pilar es la mejora continua de los procesos actuales. Para ello se ha utilizado en esta investigación la metodología el ciclo de mejora PDCA (Plan, Do, Check, Act), que se resume de una manera muy sencilla como:

- Planificar los objetivos de mejora y la manera como se van a alcanzar
- Ejecutar las actividades planificadas para la mejora del proceso
- Comprobar la efectividad de las actividades de mejora y ver si dan los resultados esperados
- Actualizar la nueva forma de realizar el proceso con las mejoras que hayan demostrado ser efectivas para la mejora del mismo

Una vez acabado el ciclo hay que volver a empezar otra vez, y así hasta llegar a la perfección del proceso.



Ilustración 29. Ciclo PDCA

El tercer pilar aunque no menos importante por ello, es la capacitación de las personas para poder desempeñar su trabajo de acuerdo a los principios *lean* y a la nuevos estándares y nueva forma de trabajar que ello conlleva.

Se han identificado inicialmente 4 niveles formativos que se corresponden con 4 niveles de capacitación en términos de conocimientos, habilidades, actitudes y valores que han de reunir los asistentes a los cursos en función del nivel cursado una vez finalizado el proceso de enseñanza/aprendizaje.

4.2.- OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS

La optimización y mejora ha estado focalizada en los procesos de elaboración propia en los talleres de cabecera del astillero cuyos principales exponentes son los de elaboración y previas, tubería y módulos y habilitación (también conocido como chapa fina).

4.2.1.- Taller de Elaboración y previas

4.2.1.1- Metodología 5S

La primera actuación de aplicación de las 5S en el astillero de referencia para la presente investigación se realizó a finales de 2009, en el taller de elaboración y previas.

Las 5S introducen a los trabajadores en una sistemática de trabajo y en los conceptos básicos que son necesarios para abordar otras herramientas de mejora más complejas.

Tienen la característica de que generan beneficios claros y rápidos para el trabajador y se apoyan fuertemente en el sentido común.

El objetivo básico de esta primera implantación de 5S era mejorar de forma sistemática y permanente los niveles de organización, orden y limpieza de los puestos de trabajo del área para generar buen ambiente de trabajo, productividad y seguridad.

No hay que olvidar que cualquier metodología de mejora que implantemos en una organización, y las 5S no son una excepción, deben tener como objetivo final ayudar a mejorar la cuenta de resultados de la empresa sin perder de vista las mejoras que se pueden obtener tanto en el puesto como en el desarrollo de los trabajos.



Ilustración 30. Etapas para implantar 5S. (Fuente: Academia Lean Navantia)

La implantación de la metodología 5S en una organización está siempre relacionada de alguna manera con la mejora en aspectos tan importantes como la calidad, la productividad y la competitividad.

Asimismo, las tareas realizadas durante una implantación y posterior mantenimiento de las 5S están orientadas a reforzar actitudes y buenos hábitos en el puesto de trabajo¹⁰². Estos hábitos de trabajo disciplinado, ordenado y con método son la premisa básica que permite ir más allá de las 5S y conseguir otras metas de calidad y productividad superiores, e implantar otras metodologías más complejas.

¹⁰² <http://www.euskalit.net/gestion/?author=6>. Jon Campos, 2012

Por tanto se puede afirmar que las 5S han supuesto uno de los mejores entrenamientos para afrontar cambios organizativos y culturales y un magnífico apoyo para mejorar el sistema productivo.

Ya se ha dicho que Lean Manufacturing es un sistema que se basa en la eliminación sistemática del despilfarro en todas las fases del proceso productivo (o constructivo si se habla de Lean Construction). Según este sistema, existen ocho tipos de despilfarros donde hay que incidir: sobreproducción, tiempo de espera, transporte, exceso de procesado, inventario, movimiento, fallos de calidad y el potencial humano no aprovechado de los trabajadores.

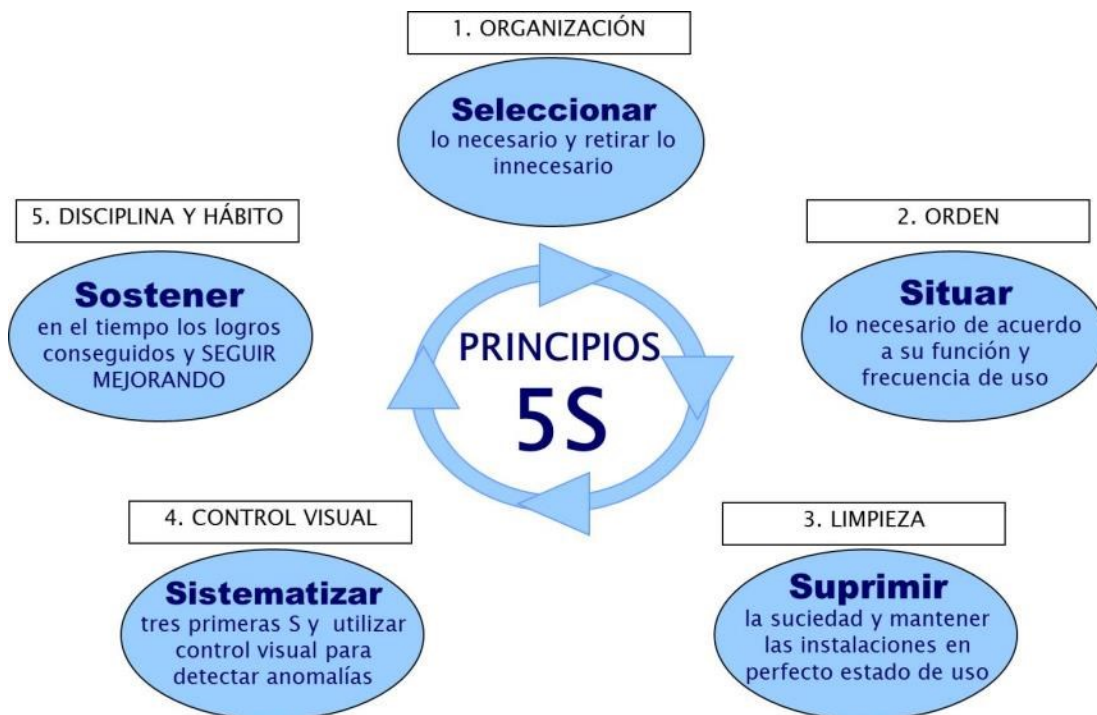


Ilustración 31. Etapas para implantar 5S. (Fuente: Academia Lean Navantia)

Veamos cómo pueden ayudar las 5S a eliminar cada uno de estos despilfarros:

1. Sobreproducción: 1ª S y 2ª S – Separar los innecesarios y situar los necesarios.

Entre los criterios para definir lo que es innecesario, se podría llegar a tener en cuenta todo material producido y sin salida, que está ocupando un

espacio en nuestras instalaciones innecesariamente. Asimismo, en el apartado de situar los necesarios, definiremos máximos y mínimos para cada material que hayamos definido como necesario e incluso colocaremos puntos de stock o de reposición para tener en cada sitio el número de elementos justo, y no más.

2. Tiempos de espera: 2ª, 3ª y 4ª S – Situar necesarios, suprimir suciedad y señalar e identificar anomalías.

Que inciden en la correcta ubicación e identificación de cada elemento necesario, el correcto funcionamiento de las máquinas (no averías, no apaños o remiendos provisionales, excesivos tiempos de búsqueda de utillajes o planos, etc.) y una buena señalización e instrucciones a pie de máquina.

3. Transporte / Movimiento: al hablar de transporte, siempre pensamos en el transportista que mueve nuestra producción o materia prima de una planta a otra. No debemos olvidar los tiempos que se consumen en vano moviendo materiales de un lugar a otro dentro de nuestra propia planta por no estar debidamente ubicados, al igual que los desplazamientos (movimientos) innecesarios de las personas a la búsqueda de “lo necesario” para su trabajo. Por tanto, la 2ª y 4ª S, la disposición en planta (lay out) de la planta, taller y fábrica son importantes.

4. Inventario: 2ª y 4ª S – Situar los necesarios, Señalar anomalías.

Colocar los materiales de la manera más visible, con las marcas para sus máximos y mínimos y las instrucciones de reposición de materiales hará que la gestión del inventario sea más eficiente y evidente.

5. Fallos de calidad: 3ª y 4ª S – Suprimir suciedad, Señalar anomalías.

En la 3ª S, aparte de limpiar y de identificar y eliminar los focos de suciedad, aprovechamos para detectar apaños o remiendos provisionales, máquinas o materiales defectuosos o anticuados que pueden causar problemas, etc. Con la 4ª S obtendremos un control visual óptimo que nos permitirá detectar rápidamente cualquier error o defecto o la posibilidad de que se produzca.

6. Potencial de los trabajadores no aprovechado: Relacionado con todas las S pero especialmente la 5ª – Seguir Mejorando a través de la disciplina y el hábito.

Las auditorías 5S, la participación o rotación de auditores internos, la obtención de indicadores, el establecimiento de objetivos, el aprendizaje mediante visitas o auditorías externas 5S en la propia planta, el reconocimiento a las buenas prácticas, etc. harán que el nivel de participación y las sugerencias de mejora de las personas aumenten y que todas ellas piensen en clave de “mejora de la productividad” porque comienzan a encontrarle sentido al sistema de trabajo. Este es uno de los principales beneficios de las 5S en el largo plazo.



Ilustración 32. Ejemplo antes-después en el taller. (Fuente: Academia Lean Navantia)



Ilustración 33. Ejemplo antes-después en una oficina 5S. (Fuente: Academia Lean Navantia)

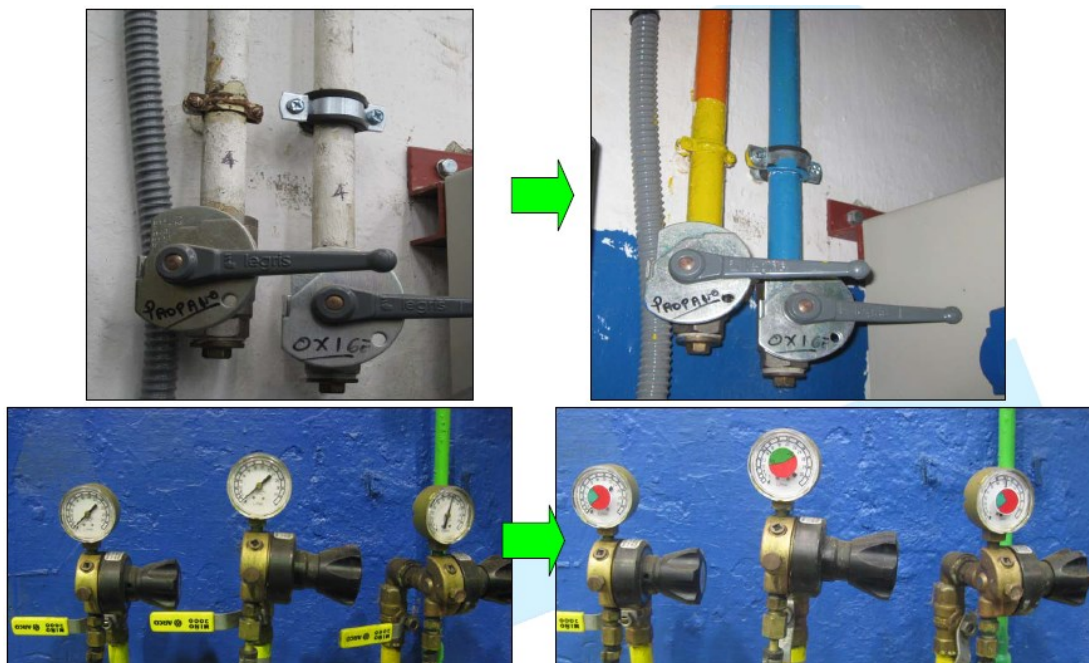


Ilustración 34. Ejemplo antes-después control visual. (Fuente: Academia Lean Navantia)

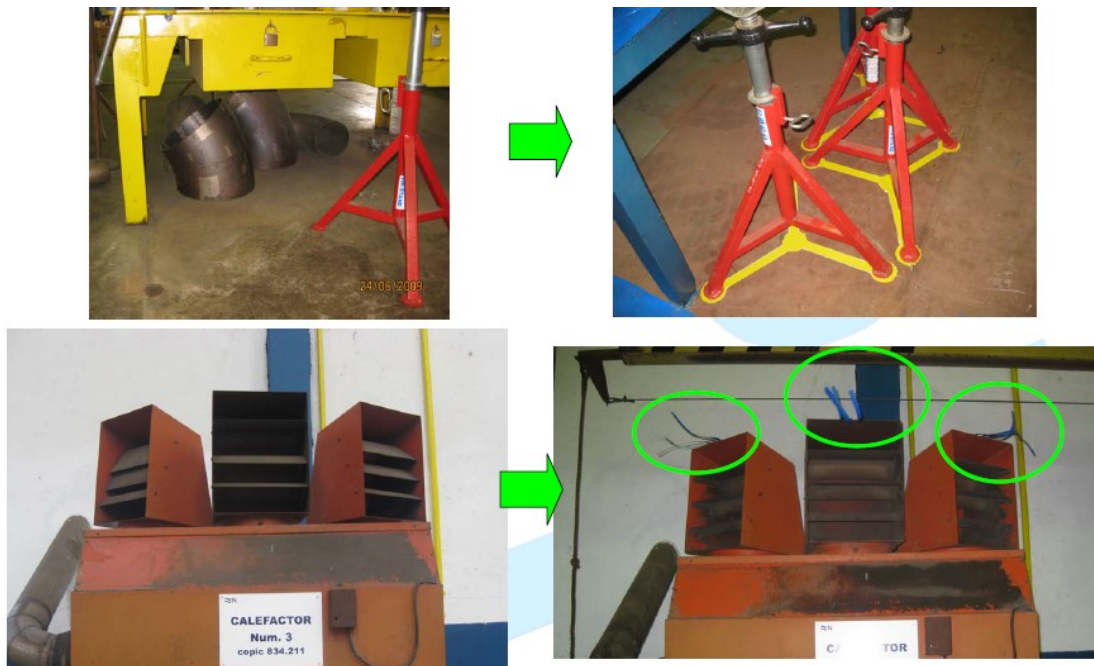


Ilustración 35. Ejemplo antes-después. (Fuente: Academia Lean Navantia)



Ilustración 36. Ejemplo antes-después limpieza. (Fuente: Academia Lean Navantia)



Ilustración 37. Ejemplo antes-después organización. (Fuente: Academia Lean Navantia)



Ilustración 38. Ejemplo antes-después orden. (Fuente: Academia Lean Navantia)



Ilustración 39. Ejemplo antes-después de limpieza. (Fuente: Academia Lean Navantia)



Ilustración 40. Ejemplo antes-después de control visual. (Fuente: Academia Lean Navantia)

Hay que hacer mención específica a los beneficios que se pueden obtener en la etapa de limpieza (tercera S) en una implantación de 5S, ya que se trata de una actividad preventiva, es decir la limpieza no consiste solo en limpiar, sino en asegurar que el área de trabajo se puede mantener limpia, mediante:

- La eliminación o al menos control de las “fuentes de suciedad”
- La eliminación de los lugares difíciles de limpiar
- El desarrollo y puesta en marcha de procedimientos de inspección y limpieza

Hay que asegurar que todos los medios de trabajo se encuentran siempre en perfecto estado operativo, sin daños ni apaños o remiendos provisionales. A modo de ejemplo puede verse en la ilustración 39 el área colindante a la prensa en el taller de elaboración que era un foco de acumulación de suciedad debido a la diferencia de altura con respecto al suelo.

4.2.1.2- Mantenimiento autónomo

El mantenimiento autónomo o auto-mantenimiento es uno de los pilares sobre los que se sustenta el TPM (Total Productive Maintenance o Mantenimiento Productivo Total).

El TPM se centra en la eliminación de pérdidas ocasionadas o relacionadas con paros, fallos de calidad, etc. y sus costes asociados en los procesos de producción.

En contra del enfoque tradicional del mantenimiento, en el que unas personas se encargan de “producir” y otras de “reparar” cuando hay averías, el TPM aboga por

la implicación continua de toda la plantilla en el cuidado, limpieza y mantenimiento preventivo de las máquinas y activos físicos, logrando de esta forma minimizar al máximo posible las averías, accidentes y los fallos de calidad.

Para comprender mejor el significado del mantenimiento autónomo como base del TPM hay que entender que el TPM se sustenta a su vez en 8 principios:

1. Mejora Focalizada o “eliminar las grandes pérdidas del proceso productivo”. Así como en Lean Manufacturing se identificaban 8 tipos de despilfarros, el sistema TPM habla de 6 tipos de pérdidas a eliminar de nuestros procesos productivos:

- Fallos en los equipos principales
- Cambios y ajustes no programados
- Paradas menores
- Reducción de velocidad
- Defectos de calidad en el proceso
- Pérdidas de arranque y apagado de la máquina

2. Mantenimiento autónomo o “hacer partícipe al operario en la conservación, mantenimiento y/o mejora de la máquina donde trabaja de manera que pueda detectar a tiempo los fallos potenciales”.

El mantenimiento autónomo es un mantenimiento preventivo programado que realizan los operadores de la máquina. Básicamente consiste en realizar, por parte de los operarios el entretenimiento del equipo, es decir aquellas tareas sencillas y frecuentes como la limpieza, lubricación, inspección y pequeños ajustes.

3. Mantenimiento planificado o “lograr mantener el equipo y el proceso en estado óptimo por medio de actividades sistemáticas y metódicas para construir y mejorar continuamente”

Se trata de que el operario diagnostique el fallo y lo indique convenientemente para facilitar la detección de la avería al personal de mantenimiento encargado de repararla.

4. Capacitación de los empleados, a ser posible entre el personal de la propia empresa.
5. Control inicial. Reducir el deterioro de los equipos y mejorar los costes de su mantenimiento en el momento que se compran y se incorporan al proceso productivo.
6. Mejora de la calidad mediante acciones preventivas para obtener un proceso y/o equipo próximo a los cero defectos.
Aquí la meta es fabricar un producto con cero defectos gracias a los cero defectos de la máquina.
7. TPM también en los departamentos de apoyo o eliminar las pérdidas en los procesos administrativos y aumentar la eficiencia

En estos departamentos las siglas del TPM toman estos significados:

- Total Participación de sus miembros
 - Productividad
 - Mantenimiento de clientes actuales y búsqueda de nuevos
8. Seguridad, Higiene y Medio Ambiente o crear y mantener un sistema que garantice un ambiente laboral sin suciedad, sin accidentes y sin contaminación.

La contaminación en el ambiente de trabajo puede llegar a producir un mal funcionamiento de una máquina y muchos de los accidentes son ocasionados por la mala distribución de los equipos y herramientas en el área de trabajo.

Los ocho principios del TPM guardan muchas similitudes con los 8 tipos de despilfarros que propone eliminar Lean.

Asimismo es evidente que, al igual que ocurría con Lean Manufacturing, las 5S tienen una influencia directa en todos los conceptos que contempla el TPM.

Por lo tanto, una buena implantación de 5S aumentará las posibilidades de éxito de la puesta en marcha y mantenimiento del TPM.

El criterio para elegir una máquina a la hora de hacer una iniciativa de mantenimiento autónomo es inicialmente su singularidad o su criticidad para el

proceso productivo, aunque el objetivo es hacerlo extensivo a la mayoría de los activos físicos del astillero. En el taller de elaboración y previas se han llevado a cabo nueve iniciativas de mantenimiento autónomo a las máquinas clave para el proceso productivo, ya que de producirse un fallo en una de ellas se podría ver comprometido el proceso productivo en el taller.

Estas máquinas han sido:

- Máquina de corte por plasma ESAB-TELEREX TXB
- Robot de corte de Perfiles TTS
- Máquina de corte por plasma MESSER
- Máquina de corte por plasma ESAB
- Robot de soldadura Motoman
- Robot de corte de perfiles Kranendonk
- Estación de chorreado y marcado
- Previas Simples Martec
- Previas Complejas ESAB

Las averías y anomalías encontradas durante estas actividades son de todo tipo, desde apaños de piezas, manguitos, etc. unidos con cinta aislante o con cable hasta boquillas deterioradas en las máquinas de corte, fugas de aire y de aceite, elementos deteriorados por golpes o por el uso, ausencia de determinados componentes de los equipos, elementos móviles tipo sinfín, corredera, etc. con poco engrase, fallos en los palpadores y en determinados sensores debido a la suciedad, golpes, etc.; cableado defectuoso por el uso, zonas de muy difícil limpieza, impresoras de inyección que no rotulan correctamente porque se tupen con la tinta o que gotean constantemente, pérdida de aire en cilindros neumáticos, etc.

Durante los mantenimientos autónomos siempre se comprueba el correcto funcionamiento de todos los elementos de seguridad. Los dos mayores problemas encontrados de los que no eran conscientes los operarios de las máquinas ni el personal de mantenimiento, fueron que los pulsadores de seguridad del robot de perfiles TTS no detenían la máquina; y que los pulsadores de emergencia de la

máquina de corte por plasma MESSER no paraba la máquina completamente. Debido a su gravedad, estas incidencias fueron subsanadas de inmediato.

MÁQUINA:		MAQUINA DE CORTE POR PLASMA TELEREX TXB					
ELEMENTO:		A1/B1 ANTORCHA					
FOTO							
DESCRIPCIÓN Y FUNCIÓN							
Canalizar el flujo de gas para realizar el corte							
COMPONENTES		PRINCIPIOS DE OPERACIÓN			CONDICIONES BÁSICAS		
MOTOR ANGULO, SENSORES DE POSICIÓN, SENSORES DE COLISIÓN, SENSORES PALPADORES, ANTORCHA, CAMA IMANES, PALPADOR PATA CABRA, SECTOR DE ANGULOS, DENTADO CORONA, VALVULA FESTO		En el interior de la antorcha circula Gas. Tensión y AF, la punta de la antorcha ceba el arco y empieza el corte.			No obturada, refrigerada, boquillas limpias, y a lo altura determinada		
AVERIAS MÁS HABITUALES				ACCIONES PREVENTIVAS			
Boquillas en mal estado o altura inadecuada				Limpieza antorcha (base cama y rosca antorcha) cada cambio de boquilla (producción). Limpiar el soporte aislante cada 3 meses (mantenimeto).			
REPUESTOS							
ANTORCHA	1	VALVULA FESTO	1	MOT.ANGULO	5	HUSILLO SINFIN	1
SENSOR PALPADOR	2	SENSORES POSICIONAMIENTO	4	PALPADOR PATA CABRA	2	TUERCA SINFIN	1
						TARJETA MOTOR ANGULO	1

Ilustración 41. Ejemplo elemento crítico máquina de corte por plasma TELEREX

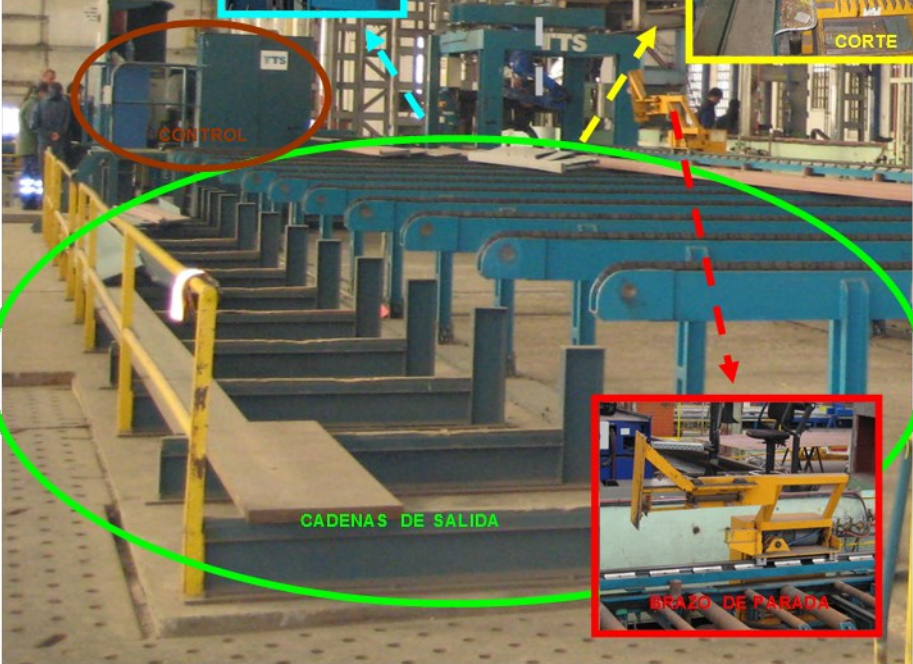







MÁQUINA:		ROBOT DE PERFILES		
FOTO				
				
				
DATOS DE LA MÁQUINA		ZONAS DE LA MÁQUINA		
MODELO	MX 100 MOTORMAN	1	CADENAS DE ENTRADA	
FABRICANTE ROBOT	MOTORMAN	2	CADENAS DE SALIDA	
FABRICANTE INSTALACIÓN	TTS	3	CORTE	
P * AIRE	7 Bar	4	CONTROL	
TENSIÓN	380 V	5	BRAZO DE PARADA	
MATERIALES	BULBOS, PLETINAS, ÁNGULOS, PERFILES, PERFILES IPN, PERFILES IPE	6	IMPRESORA	
GASES	OXIGENO, FLAMAL 31	7	BRAZO	
AÑO FABRICACIÓN	1998			

Ilustración 42. Ejemplo ficha de máquina robot de corte de perfiles TTS

4.2.1.3- Taller KAIZEN

Otra de las iniciativas de calado que se han llevado a cabo para la optimización de los procesos han sido los talleres kaizen realizados para la mejora de los procesos de fabricación de los talleres/procesos de cabecera.

El objetivo de estos talleres de mejora es formar y guiar en el diseño y aplicación de técnicas “kaizen” adecuadas a las necesidades específicas de cada taller, especialmente aquellas relacionadas con la identificación/eliminación del desperdicio y la mejora de la calidad y efectividad.

Un taller de mejora o Kaizen Workshop es una intervención de carácter intensivo en el tiempo dirigida a la implantación y puesta en práctica de metodologías de mejora.

Basa su actuación en la concentración de esfuerzos, recursos y en la realización de una gran cantidad de acciones en un área reducida del proceso con el fin de apreciar cambios con gran rapidez y conseguir resultados cuantificables.

Según Fujio Cho¹⁰³ de Toyota Corporation todo lo que no sea la cantidad mínima de equipo, materiales, piezas, espacio y tiempo del trabajador, que resulten absolutamente esenciales para añadir valor al producto es desperdicio¹⁰⁴. Esta búsqueda incesante del despilfarro incluye tanto el desperdicio en las operaciones como en los propios procesos. Es fundamental diferenciar procesos y operaciones y poner énfasis en la mejora del proceso en sí mismo.

Tal y como se comentó los tipos de despilfarros buscados incesantemente por TOYOTA a lo largo de toda su cadena de valor son:

1. Producción por exceso
2. Tiempo de espera
3. Transporte
4. Exceso de procesado





¹⁰³ Presidente desde 1999 y Chairman de Toyota Motor Corporation desde el 2006. Inició su trabajo en la compañía en 1960. Lideró el desarrollo del Prius, el primer vehículo híbrido de producción en serie. Fujio Cho fue el sucesor de Taiichi Ohno, líder y responsable del Sistema de Producción Toyota (germen del sistema de producción *lean*).

¹⁰⁴ En esta investigación se hará referencia indistintamente a esta definición de Fujio Cho como desperdicio o como despilfarro.

5. Stock innecesario a pie de máquina
6. Movimientos innecesarios
7. Producir productos defectuosos

El principal despilfarro es la sobreproducción o producción en exceso porque es la causante de la mayoría de las ineficiencias en los procesos pues implica más existencias e inventario en curso en el sistema de producción que no es procesado de manera inminente lo que origina más manipulaciones, requiere más espacio de almacenamiento, más papeleo, más cargas financieras para algo que no vamos a usar hasta pasado un tiempo, más maquinaria, más defectos y reprocesos, etc.

Si consideramos que los pasos de la secuencia de la transformación de la materia prima en producto final son los “fenómenos del proceso”, los cuatro tipos de fenómenos que se pueden dar en un proceso típico, en su versión más simple, son los siguientes:

- | | | |
|---------------------|---|----------------|
| • Procesado |  | Añade valor |
| • Inspección |  | No añade valor |
| • Transporte |  | No añade valor |
| • Espera/Almacenaje |  | No añade valor |

Una de las herramientas que nos ayuda a identificar el despilfarro a través del estudio de estos fenómenos es el diagrama de flujo producto-proceso. Este diagrama tiene la siguiente forma:

Para realizar este taller de mejora o iniciativa kaizen en el taller de Elaboración y Previas lo primero que se ha hecho es identificar las líneas de flujo principales y hacer un análisis del proceso en el que se calculan los indicadores que reflejan la situación en el momento concreto de hacer el estudio, como se observa en las siguientes tablas:

LÍNEAS PRINCIPALES	HORAS	%
Chapa para paneles planos	10.760	11 %
Chapa para paneles curvos	23.048	23 %
Chapa para previas	28.690	29 %
Perfiles para paneles planos	6.184	6 %
Perfiles para paneles curvos	14.659	15 %
Perfiles para previas	14.176	14 %
Mamparos corrugados	1.678	2 %
TOTAL	99.145	100 %

Ilustración 45. Líneas de flujo principales del taller

LÍNEA DE PRODUCTOS	TIEMPO PERMANENCIA EN TALLER
Chapa para paneles planos	2 semanas (sólo corte)
Chapa para paneles curvos	12 semanas
Chapa para previas	10 semanas
Perfiles para paneles planos	3,5 semanas
Perfiles para paneles curvos	12 semanas
Perfiles para previas	10,5 semanas

Ilustración 46. Resultados del tiempo de permanencia en el taller

Una vez hecho esto, se calcula para cada línea de fabricación por familia de productos el tiempo de proceso¹⁰⁵:

LÍNEA DE PRODUCTOS	TIEMPO DE PERMANENCIA EN TALLER	TIEMPO DE PROCESADO
Chapa paneles planos	2 semanas (sólo corte)	2 h (sólo corte)
Chapa paneles curvos	12 semanas	5 h
Chapa para previas	10 semanas	5 h
Perfiles paneles planos	3 / 4 semanas	6 h (corte) y 14,5 h corte + soldadura
Perfiles paneles curvos	12 semanas	14,5 h
Perfiles para previas	10 / 11 semanas	38,5 h

Ilustración 47. Resultados del tiempo de permanencia en el taller

Posteriormente y pensando en los procesos anteriores se busca sin descanso para su eliminación o reducción al máximo exponente todo aquello que no aporte valor al proceso de fabricación, al producto intermedio en curso, o al producto final. Es decir como decía Fujio Cho : "Todo lo que no sea la cantidad mínima de equipo, materiales, piezas, espacio o tiempo del trabajador, que resulten absolutamente esenciales para añadir valor al producto"

¹⁰⁵ El tiempo de proceso está ligado al producto que se fabrica con un determinado proceso y representa el tiempo total necesario para producir un único producto utilizando un determinado proceso.



Ilustración 48. Taller de elaboración (Fuente Academia Lean Navantia)

Como consecuencia de este análisis se han detectado y se han puesto de manifiesto las principales causas que hacen que se produzcan ineficiencias en el proceso de fabricación, como son:

- Interrupciones del flujo del material
- Tiempos de espera
- Transportes y manipulaciones innecesarios, etc.
- Tipo de programación y transmisión de la demanda: “Push”
- Producción en lotes grandes
- Falta de coordinación entre flujos diferentes
- Complejidad del taller, etc.



Ilustración 49. Taller de prefabricación (Fuente Academia Lean Navantia)

Con objeto de orientarse al cliente interno, que en la mayoría de los casos es el taller de prefabricación, se propone trabajar en las siguientes áreas de mejora:

1. Programación: secuencia de materiales de cada Flujo.
Se reduce drásticamente el tamaño de lote, pasando de trabajar por bloque como lote de fabricación y transferencia a trabajar por cuna de transporte (unidad de manipulación estandarizada dentro del astillero)
2. Reducir tiempos de espera / almacenamientos intermedios
3. Relación con Almacén (chapas y perfiles): regularidad en los envíos
4. Tipo de programación "PULL", ahora las líneas de fabricación de Paneles y Previas deben tirar de los procesos anteriores
5. Gestión Visual de cada Flujo, establecer un nivel de stock máximo entre procesos



Ilustración 50. Taller de elaboración (Fuente Academia Lean Navantia)

El objetivo principal inicial de estas actividades de mejora es que el material fluya de manera uniforme y sin interrupciones.

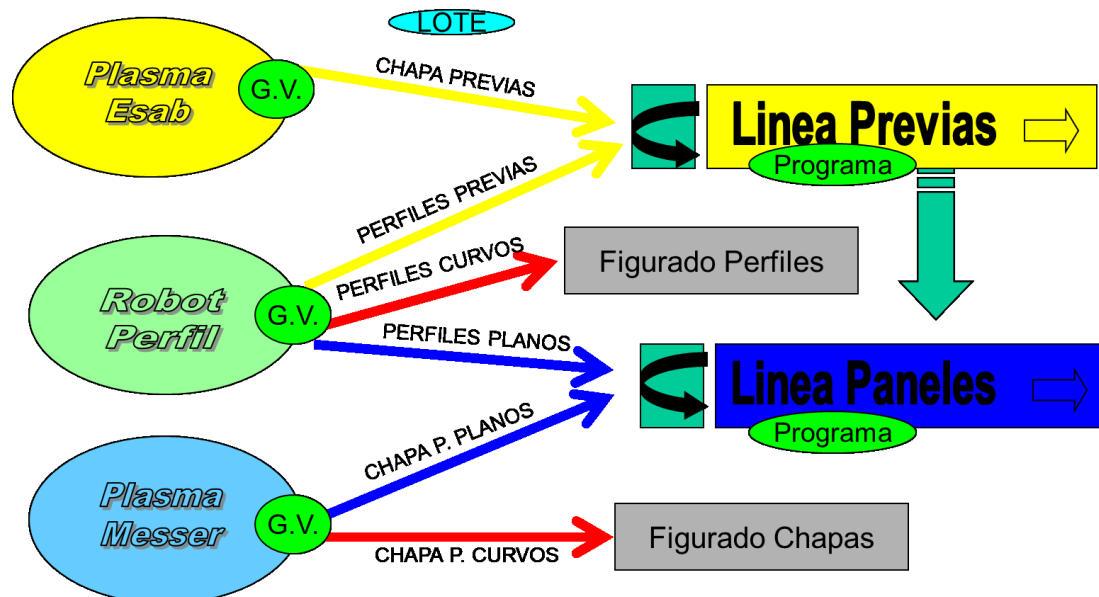
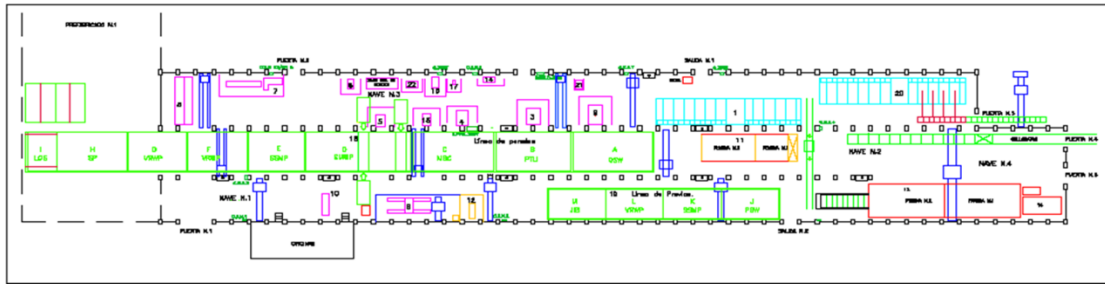


Ilustración 51. Ejemplo taller elaboración (Fuente Academia Lean Navantia)

En la siguiente figura vemos la disposición en planta del taller.



LÍNEA DE PREVIAS

LÍNEA PANELES PLANOS

PANELES CURVOS & PERFIL FIGURADO

Ilustración 52. Disposición taller de elaboración (Fuente Academia Lean Navantia)

Ahora analizamos y medimos el tiempo de permanencia en el taller, cuyos resultados se muestran en el siguiente ejemplo de ANTES – DESPUES

LÍNEA DE PRODUCTOS	TIEMPO DE PERMANENCIA ANTES	TIEMPO DE PERMANENCIA DESPUES
Chapa paneles planos	2 semanas (sólo corte)	1 semana
Chapa paneles curvos	12 semanas	3 semanas
Chapa para previas	10 semanas	4 semanas
Perfiles paneles planos	3 / 4 semanas	1 semana
Perfiles paneles curvos	12 semanas	3 semanas
Perfiles para previas	10 / 11 semanas	4 semanas

Ilustración 53. Tiempo de permanencia de los productos en el taller

Ahora se observa con claridad los resultados obtenidos:

LÍNEA DE PRODUCTOS	% TIEMPO REDUCIDO
Chapa paneles planos	50 %
Chapa paneles curvos	75 %
Chapa para previas	60 %
Perfiles paneles planos	71,5 %
Perfiles paneles curvos	75 %
Perfiles para previas	62 %

Ilustración 54. Reducción de tiempo obtenida en %

En la siguiente ilustración puede verse la disposición en planta de la línea de paneles curvos y figurado de perfiles del taller de elaboración y previas:

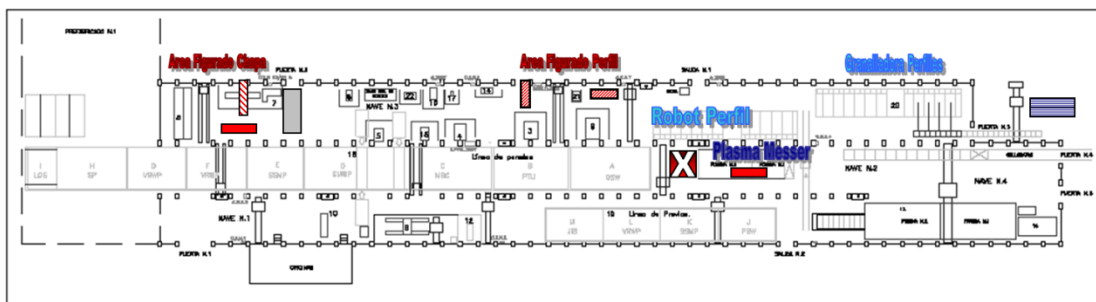


Ilustración 55. Disposición el planta taller de elaboración (Fuente Academia Lean Navantia)



Ilustración 56. Área de figurado de chapas (Fuente Academia Lean Navantia)



Ilustración 57. Área de paneles curvos

4.2.2.- Taller de Tuberías y módulos

4.2.2.1- Metodología 5S

La primera etapa (o primera S) en una implantación de 5S es la de organización que consiste básicamente en dos actividades:

- Retirar de los puestos de trabajo todo aquello que no es necesario en el día a día, y sin embargo ocupa espacio y provoca una pérdida de tiempo.
Para ello hay que reconocer y listar todos los elementos estrictamente necesarios para realizar la actividad
- Identificar dentro del área de trabajo las principales zonas con función o utilización diferenciada

Para ello hay que definir e implantar la señalización horizontal y vertical adecuada para delimitar las zonas establecidas (señalización “macro”)



Ilustración 58. Panel 5S utilizado durante toda la implantación. (Fuente: Academia Lean Navantia)



Ilustración 59. Ejemplo antes- después de organización. (Fuente: Academia Lean Navantia)

La segunda etapa (segunda S) es la de orden. Esta etapa consiste básicamente en ubicar e identificar todos los materiales y documentos considerados como necesarios en la etapa anterior, de manera que sea fácil y rápido encontrarlos, utilizarlos y devolverlos a su sitio.

Para ello hay que:

- definir e implantar la disposición deseada
- definir e implantar la identificación establecida (señalización “micro”)

El lema que resume esta etapa es “un sitio para cada cosa y cada cosa en su sitio”



Ilustración 60. Ejemplo antes- después de orden. (Fuente: Academia Lean Navantía)

La tercera etapa (tercera S) es la de limpieza. El objetivo de esta etapa es básicamente asegurar que el área de trabajo se puede mantener limpia, mediante:

- eliminación, o al menos control, de las “fuentes de suciedad”
- eliminación de lugares difíciles de limpiar
- desarrollar y poner en marcha procedimientos de inspección y limpieza

También a través de asegurar que todos los medios de trabajo se encuentran siempre en perfecto estado operativo, sin daños ni “apaños”



Ilustración 61. Ejemplo antes- después de un taller 5S. (Fuente: Academia Lean Navantia)

4.2.2.2- Mantenimiento autónomo

Al igual que en el taller de elaboración y previas el criterio elegido a la hora de hacer una iniciativa de mantenimiento autónomo a un activo físico ha sido inicialmente su singularidad o su criticidad para el proceso productivo, aunque el objetivo es hacerlo extensivo a la mayoría de los activos físicos del astillero.

En el taller de tubería se han llevado a cabo 8 iniciativas de mantenimiento autónomo a las máquinas clave para el proceso productivo, de manera tal que si se produce un fallo en una de ellas pueda provocar su parada interrumpiendo el proceso productivo normal del taller.

Estas máquinas han sido:

- Curvadora de tubos TRANSFLUID
- Extrusionadora de tubos T_DRILL 150 y 250
- Curvadora de tubos Tejero
- Máquina de corte térmico Müller Opladen
- Curvadora de tubos Transfluid
- Tornos universales Amutio
- Barrena radial Soraluze
- Barrena de columna

Máquina	Fecha inicio Autónomo	% Ejecución Gama	Nº Incidencias detectadas	Nº Averías
Curvadora Transfluid DB40120	12/07/2010	100 %	13	1
Extrusionadoras T-Drill	08/11/2010	100 %	30	1



Ilustración 62. Ejemplo de una de los primeros mantenimientos autónomos realizados

Las principales averías e incidencias encontradas durante los mantenimientos autónomos realizados han sido roturas de cables en cuadros de mando, mal funcionamiento de inductores, embrague del elevador de tubos que no funciona, refrigeraciones insuficientes, sensores de posicionamiento estropeados, sensores de seguridad de cierre puertas que no funcionan con normalidad, falta de limpieza, averías debidas a fallos de diseño (por ejemplo en la curvadora Transfluid) lo que dio lugar a un rediseño de una parte de la misma, etc.

MÁQUINA:		T-DRILL 250	
ELEMENTO:		INDUCTOR	
FOTO			
DESCRIPCIÓN Y FUNCIÓN			
Calentar los tubos de hierro para poder extorsionar en caliente			
COMPONENTES	PRINCIPIOS DE OPERACIÓN	CONDICIONES BÁSICAS	
Manguera de tensión, Manguera de agua	La tensión procedente del transformador llega al plato de inducción y calienta los tubos.	Limpio, sin pérdidas de agua, con los aprietes correctos y las mangueras en buen estado.	
AVERIAS MÁS HABITUALES		ACCIONES PREVENTIVAS	
Pérdida de agua.		Inspección visual de ausencia de pérdidas.	
REPUESTOS			
Mangueras inductor, plato de inducción.			

Ilustración 63. Ejemplo de elemento crítico realizado por los operadores de la máquina



Ilustración 64. Máquina de corte térmico de tubos Müller Opladen

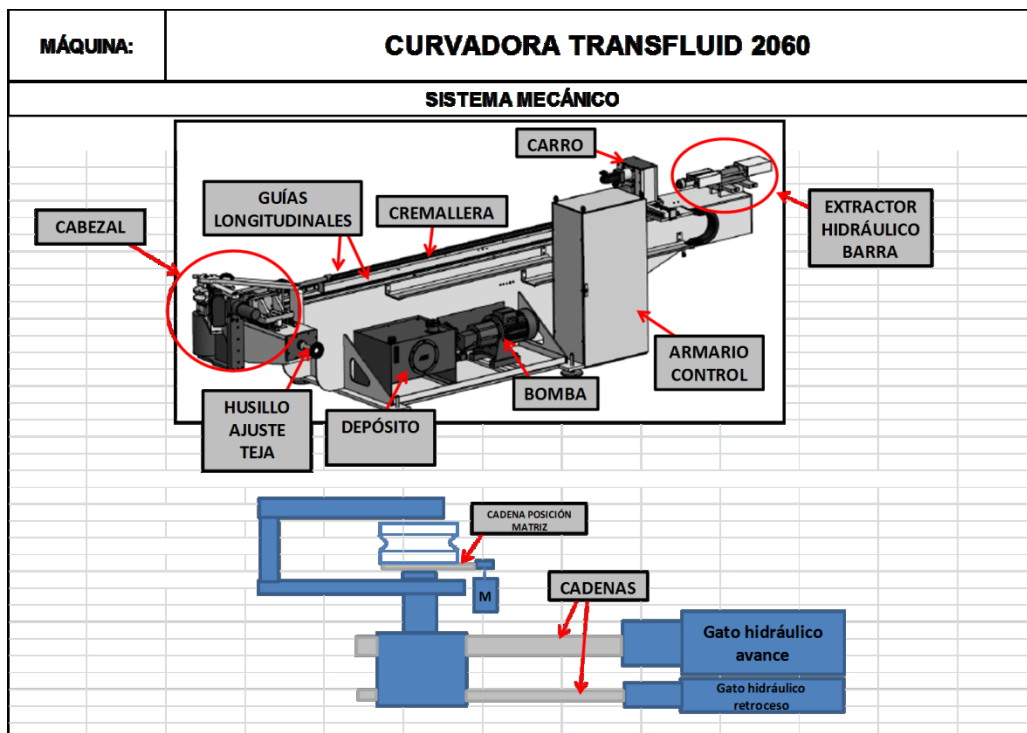


Ilustración 65. Ejemplo de croquis del sistema mecánico de una curvadora

4.2.2.3- Taller KAIZEN

Ya se ha explicado en el taller de elaboración y previas en que consiste un taller Kaizen. Decíamos que el objetivo de estos talleres de mejora es formar y guiar en el diseño y aplicación de técnicas kaizen o de mejora adecuada a las necesidades específicas de cada taller, especialmente aquellas relacionadas con la identificación/eliminación del desperdicio y la mejora de la calidad y efectividad.

A la hora de realizar esta iniciativa de mejora en el proceso de elaboración de tubería se marcó el objetivo de mejorar el flujo de materiales en el taller y de reducir el material circulante de tubería.

Para ello, el estudio realizado ha tenido en cuenta las operaciones siguientes:

1. Preparación de trabajos
2. Corte
3. Curvado
4. Despacho de materiales
5. Fabricación
6. Soldadura
7. Limpieza
8. Protección

En la figura siguiente observamos la situación del taller antes de hacer un análisis a través de un diagrama geográfico Producto-Proceso previamente a realizar el taller kaizen.

El diagrama geográfico nos ayuda a entender, a través de su análisis, el flujo físico de las diferentes actividades involucradas en el proceso, lo cual permite a su vez identificar el exceso en los desplazamientos y las demoras de almacenamiento de los productos intermedios resultantes del trabajo y/o de los recursos.

Este diagrama de flujo geográfico sirve también para analizar los patrones de tráfico o movimiento de los diferentes productos intermedios dentro del taller, lo que nos permite identificar áreas congestionadas, la distancia recorrida por cada producto

intermedio, o la distancia recorrida desde que la materia prima entra en el taller hasta que sale del mismo ya convertida en tubo listo para su montaje, etc.

Además esta herramienta se ha mostrado muy eficaz a la hora de analizar el impacto de los cambios propuestos y de documentar los procesos con el fin de identificar áreas que requieren mejoras.

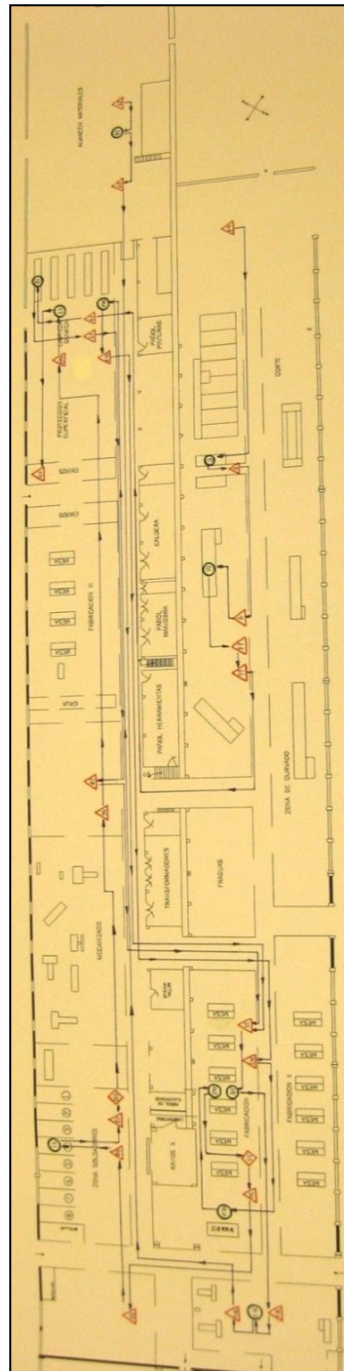


Ilustración 66. Análisis Diagrama geográfico Producto-Proceso antes

La situación de partida antes de realizar el taller kaizen, incluidas algunas de sus métricas, puede verse reflejada en las tablas siguientes, resultado del análisis del proceso:

Nº	Descripción		○	→	metros	▽	◇	MATERIAL
1	ME RECOGEN EN LA OFICINA	CORTE		X	100			
2	ESPERO A QUE ME RECEPCIONEN					X		
3	ME RECEPCIONAN, CLASIFICAN Y AGRUPAN		X					
4	ESPERO A QUE ME ENTREGUEN AL OP. DE CORTE					X		
4.1	ESPERO A QUE ME RETIREN DE LA ESTIBA					X		X
4.2	ME DESPLAZAN A LA ZONA DE CORTE			X	25			X
5	ME CORTAN		X					X
6	ME DEPOSITAN EN LA BANDEJA			X	5			X
7	ESPERO A QUE COR TEN LOS DEMÁS TUBOS				X		X	
8	ME DESPLAZAN AL PUNTO DE CURVADO		X	10			X	
9	ESPERO A QUE CAMBIEN UTILLAJE Y ASIGNEN TURNO	CURVADO				X		X
10	ME CURVAN		X					X
11	ESPERO A QUE SE CURVEN TODOS LOS TUBOS DE LA BANDA					X		X
12	ENTREGAN MI DOCUMENTACIÓN AL ENCARGADO					X		
13	ME PROCESAN EN EL SISTEMA		X					
14	ESPERO A QUE ME TRANSPORTEN A LA Z. DESENGRASE				X		X	
15	ME TRANSPORTAN A LA Z. DESENGRASE		X	100			X	
16	ENVÍAN MI DOCUMENTACIÓN AL ALMACÉN	DESENGRASE		X	125			
17	ESPERO A QUE ME ASIGNEN TURNO					X		X
18	ME DESENGRASAN		X					X
19	ESPERO A QUE DESENGRASEN LOS DEMÁS					X		X
20	ME TRASLADAN A LA Z. DE ESFERA			X	100			X
21	ESPERO A QUE ME PROCESEN EN EL ALMACÉN					X		
22	ME PROCESAN EN EL SISTEMA		X					
23	ESPERO A QUE ME PREPAREN					X		X
24	ME PREPARAN, VALEAN Y ESTIBAN		X					X
25	ESPERO A QUE VENGAN A RETIRAR LOS MATERIALES					X		X
26	ENTREGAN MI DOCUMENTACIÓN EN LA OFICINA DE ENCARG				X			
27	ESPERO A QUE ME ASIGNEN A LA Z. DE FABRICACIÓN	FABRICADO				X		X
28	ME ASIGNAN		X					
29	ESPERO A QUE ME LANCEN LOS RESPONSABLES DE FABRIC					X		X
30	ME PROCESAN, ASIGNAN MATERIALES, SOLICITAN INJERTOS		X					
31	RETIRAN MIS MATERIALES Y LOS LLEVAN A LA Z. DE FABRIC			X	150			
32	DESPLAZAN MI BANDEJA A LA ZONA DE FABRICACIÓN			X	50			X
33	ESPERO A QUE ME ASIGNEN TURNO DE FABRICACIÓN					X		X
34	ME FABRICAN (CORTE, BISELADO, EXTRUSIONADO Y LIMPIEZA)		X					X
34.1	ME TRASLADAN A LA ZONA DE EXTRUSIONADO Y/O AFALDILL			X	20			X
34.2	ESPERO A QUE ME EXTRUSIONEN Y/O AFALDILLEN					X		X
34.3	ME EXTRUSIONAN Y/O AFALDILLAN		X					X
34.4	ESPERO A QUE ME TRASLADEN A LA ZONA DE LIMPIEZA					X		X
34.5	ME TRASLADAN A LA ZONA DE LIMPIEZA			X	150			X
34.6	ME LIMPIAN		X					X
34.7	ESPERO A QUE ME TRASLADEN A LA ZONA DE FABRICADO				X		X	
34.8	ME TRASLADAN A LA ZONA DE FABRICADO		X	20			X	
34.9	ESPERO A QUE ME TRASLADEN A LA SIERRA				X		X	
34.10	ME CORTAN	X					X	
34.11	ME TRASLADAN A LA ZONA DE FABRICADO		X	10			X	
34.12	ME FABRICAN	X					X	
35	ME COMPRUEBAN	X					X	
36	ME DEPOSITAN EN LA BANDEJA Y ESPERO A QUE SE FINALIC				X		X	
37	ME TRASLADAN A LA ZONA DE ESPERA DE SOLDADURA		X	50			X	
38	ESPERO HASTA QUE ME ASIGNEN TURNO DE SOLDADURA				X		X	
39	ME DESPLAZAN HASTA LA CABINA ASIGNADA		X	40			X	
40	ESPERO A QUE ME SUELDEN				X		X	
41	ME SUELDAN	X					X	
42	ME DEPOSITAN EN LA BANDEJA		X	5			X	
43	ESPERO A QUE SE FINALICE EL PROCESO DE LOS DEMÁS TU				X		X	
43.1	ME INSPECCIONAN					X	X	
44	ME PROCESAN EN EL SISTEMA	X						
45	ME DESPLAZAN A LA ZONA DE ESPERA PARA LIMPIEZA		X	65			X	
46	ESPERO A QUE ME ASIGNEN TURNO	LIMPIEZA				X		X
46.1	ME DESPLAZAN AL PUNTO DE LIMPIEZA			X	60			X
46.2	ESPERO TURNO DE LIMPIEZA					X		X
47	ME LIMPIAN Y PROTEGEN		X					X
48	ME DEPOSITAN EN LA BANDEJA Y ME DESPLAZAN			X	15			X
49	ME PROCESAN EN EL SISTEMA		X					
50	ESPERO A QUE ME ASIGNEN DESTINO Y ME LLEVEN				X		X	

Ilustración 67. Análisis del proceso: datos de la situación de partida

Tal y como sucedió en el caso del estudio realizado anteriormente para el taller de elaboración y previas, y como consecuencia del análisis realizado, se han detectado y se han puesto de manifiesto las principales causas que hacen que se produzcan ineficiencias en el proceso de fabricación:

- Interrupciones del flujo del material
- Tiempos de espera
- Transportes y manipulaciones innecesarios, etc.
- Tipo de programación y transmisión de la demanda: Push
- Producción en lotes grandes
- Falta de coordinación entre flujos diferentes
- Complejidad del taller, etc.

Veamos más datos de la situación de partida:

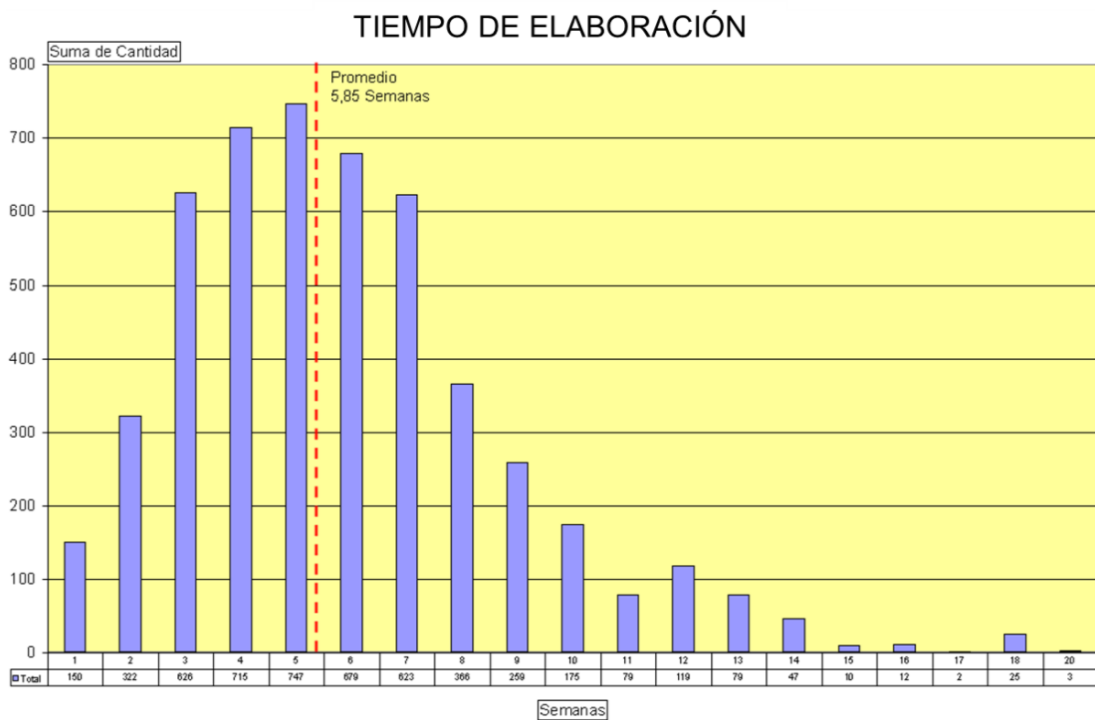


Ilustración 68. Análisis del proceso: datos de la situación de partida

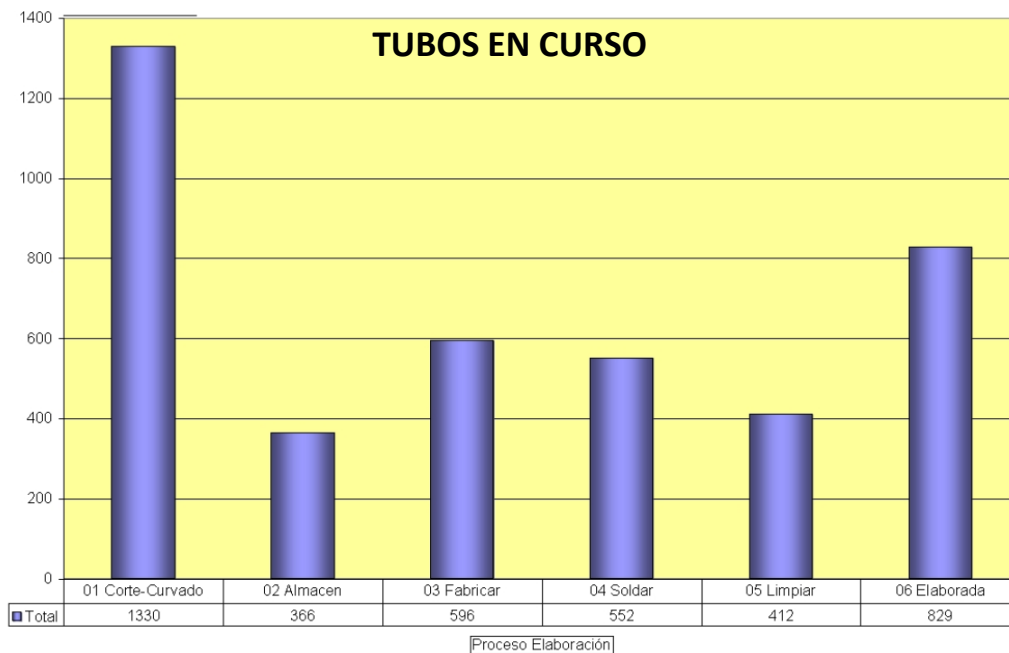


Ilustración 69. Análisis del proceso: datos de la situación de partida

Se han identificado demasiados puntos de espera y almacenaje de cantidades ingentes de inventario a la espera de ser procesado, o en su caso productos intermedios ya elaborados a la espera de ser transportados al montaje en el taller de prefabricación, en la grada o en el muelle de armamento, etc., es decir a ser solicitados por el cliente interno.



Ilustración 70. Área de almacenaje de tubos a la espera de ser transportados para su montaje



Ilustración 71. Área de almacenaje de tubos a la espera de ser transportados para su montaje



Ilustración 72. Área de almacenaje de tubos a la espera de ser transportados para su montaje



Ilustración 73. Área de almacenaje de tubos a la espera de ser transportados para su montaje



Ilustración 74. Área de almacenaje de tubos a la espera de ser transportados para su montaje



Ilustración 75. Área de almacenaje de tubos disponibles para montaje



Ilustración 76. Área de almacenaje de tubos disponibles para montaje



Ilustración 77. Área de almacenaje de tubos disponibles para montaje

Durante este análisis del proceso se han medido los tiempos de valor añadido necesarios para la elaboración de un tubo. Debido a la gran diversidad de materiales, diámetros y espesores, en la tabla posterior se indican valores medios aproximados:

OPERACIÓN	TIEMPO DE PROCESO (minutos)	TUBOS PENDIENTES
Corte	15 minutos	1.300 tubos
Curvado	30 minutos	
Desengrasado	10 minutos	
Fabricación (con corte, etc.)	120 minutos	600 tubos
Soldadura	120 minutos	550 tubos
Limpieza y Protección	20 minutos	412 tubos
TOTAL	315 minutos	2862 tubos

Ilustración 78. Área de almacenaje de tubos disponibles para montaje

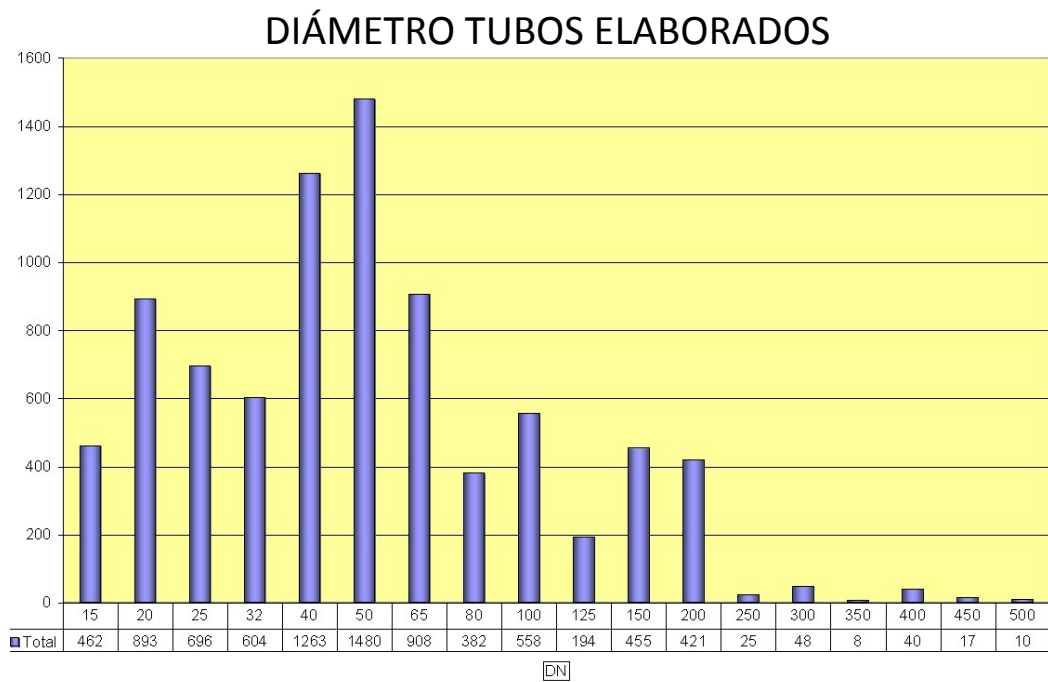


Ilustración 79. Tubos elaborados clasificados por diámetro

INDICADORES	SITUACIÓN DE PARTIDA
Tiempo de Elaboración	6 semanas y alta variabilidad (1 a 20 semanas)
Circulante	+/- 3100 tubos (+ 800 elaborados pendientes de entrega)
Nº Transportes	16
Distancia transportada por tubo (media)	525 metros
Manipulación	29 veces "coger / dejar"
Nº de esperas	21

Ilustración 80. Indicadores de la situación de partida

ANÁLISIS DEL DESPERDICIO

Con esta situación de partida ponemos el foco en la mejora del proceso a través de la eliminación del despilfarro. Para ello, nuevamente recordamos la definición de Fujio Cho, presidente de Toyota Corporation:

"Despilfarro (o desperdicio) es todo lo que no sea la cantidad mínima de equipo, materiales, piezas, espacio y tiempo del trabajador, que resulten absolutamente esenciales para añadir valor al producto"

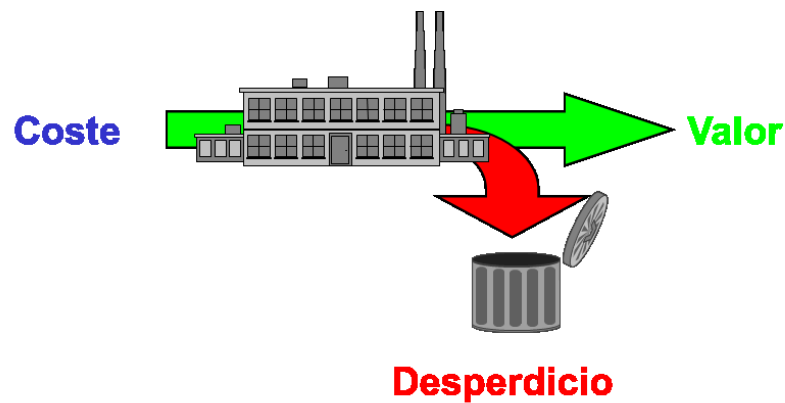


Ilustración 81. El despilfarro en la empresa

Una vez calculadas las métricas y datos clave de la situación de partida se procede a su riguroso estudio para identificar los problemas productivos que originan dichos números, su causa raíz y la propuesta de mejora que la elimine y si no es posible la minimice al máximo.

El análisis de causas puede verse en la siguiente tabla:

Nº	Descripción	Causa	Solución
1	ME RECOGEN EN LA OFICINA		
2	ESPERO A QUE ME RECEPCIONEN		
3	ME RECEPCIONAN CLASIFICAN Y AGRUPAN		
4	ESPERO A QUE ME ENTREGUEN AL OF. DE CORTE		
4.1	ESPERO A QUE ME RETIENEN EN LA ESTIBA	Se cortan varios tubos a la vez	
4.2	ME DESPLAZAN A LA ZONA DE CORTE	Las sillas no están muy próximas a la estiba	
5	ME CORTAN		
6	ME DEPOSITAN EN LA BANDEJA		
7	ESPERO A QUE CORTEN LOS DEMÁS TUBOS	Se cortan varios diámetros y hay que esperar a que se llene la bandeja	
8	ME DESPLAZAN AL PUNTO DE CURVADO		
9	ESPERO A QUE CAMBIEN UTILLAJE Y ASIGNEN TURNO	Se cortan materiales que no se curvarán al momento	Cortar materiales que se van a curvar
10	ME CURVAN	Se hace una agrupación de tubos por diámetro y hay falta de bandejas	
11	ESPERO A QUE SE CURVEN TODOS LOS TUBOS DE LA BANDA		
12	ENTREGAN MI DOCUMENTACIÓN AL ENCARGADO		
13	ME PROCESAN EN EL SISTEMA	La bandeja debe ser transportada, se espera a que haya camión. Esperar mínima	
14	ESPERO A QUE ME TRANSPORTEN A LA Z. DESENGRASE	Zona de desengrase a muy alejada	Se plantea acortamiento de la misma o eliminación de la línea
15	ME TRANSPORTAN A LA Z. DESENGRASE		
16	ENVÍAN MI DOCUMENTACIÓN AL ALMACÉN		
17	ESPERO A QUE ME ASIGNEN TURNO		
18	ME DESENGRASAN	Tamaño de la bandeja	
19	ESPERO A QUE DESENGRASEN LOS DEMÁS	Debido a la distancia que hay	
20	ME TRASLADAN A LA Z. DE ESPERA		
21	ESPERO A QUE ME PROCESEN EN EL ALMACÉN		
22	ME PROCESAN EN EL SISTEMA		
23	ESPERO A QUE ME PREPAREN	Depende del tamaño de las bandejas	
24	ME PREPARAN, VALEAN Y ESTIBAN		
25	ESPERO A QUE VALEAN Y RETIRAR LOS MATERIALES	Se preparan todos los materiales de los tubos curvados, pero no se retira	Se debe preparar el material necesario para la siguiente jornada, solicitado por fabricación
26	ENTREGAN MI DOCUMENTACIÓN EN LA OFICINA DE ENCARG		
27	ESPERO A QUE ME ASIGNEN A LA Z. DE FABRICACIÓN	Saturación de la zona de entrada de fabricación con material fabricado y No agrupar por bloques, los tubos deben ser procesados por FIFO	
28	ME ASIGNAN	No tenemos en cuenta las faltas de material	
29	ESPERO A QUE ME LANCEN LOS RESPONSABLES DE FABRIC		
30	ME PROCESAN, ASIGNAN MATERIALES, SOLICITAN INERTOS		
31	RETIRAN MIS MATERIALES Y LOS LLEVA A LA Z. DE FABRIC		
32	DESPLAZAN MI BANDEJA A LA ZONA DE FABRICACIÓN	La zona de fabricación puede estar lejos de la zona de espera	Aproximar zona de fabricación
33	ESPERO A QUE ME ASIGNEN TURNO DE FABRICACIÓN	Debido a que el operario finalice el trabajo con otros tubos, es mejor en reducir el número de tubos a procesar en placa	
34	ME FABRICAN (CORTE, BISELADO, EXTRUSIONADO Y LIMPIEZA)		
34.1	ME TRASLADAN A LA ZONA DE EXTRUSIONADO Y/O AFALDILL	Zona alejada y con reboto en el flujo	Se plantea una aproximación del extrusionado a la zona de fabricación
34.2	ESPERO A QUE ME EXTRUSIONEN Y/O AFALDILLAN		
34.3	ME EXTRUSIONAN Y/O AFALDILLAN		
34.4	ESPERO A QUE ME TRASLADEN A LA ZONA DE LIMPIEZA		
34.5	ME TRASLADAN A LA ZONA DE LIMPIEZA		
34.6	ME LIMPIAN		
34.7	ESPERO A QUE ME TRASLADEN A LA ZONA DE FABRICADO		
34.8	ME TRASLADAN A LA ZONA DE FABRICADO		
34.9	ESPERO A QUE ME TRASLADEN A LA SIERRA		
34.10	ME CORTAN		
34.11	ME TRASLADAN A LA ZONA DE FABRICADO		
34.12	ME FABRICAN		
35	ME COMPRUEBAN		
36	ME DEPOSITAN EN LA BANDEJA Y ESPERO A QUE SE FINALIC		
37	ME TRASLADAN A LA ZONA DE ESPERA DE SOLDADURA		
38	ESPERO HASTA QUE ME ASIGNEN TURNO DE SOLDADURA		
39	ME DESPLAZAN HASTA LA CABINA ASIGNADA	Mucha cantidad de tubos en espera, bloqueados en fabricación hasta que	Evitar parar en una zona de espera, alimentando directamente la entrada de los puestos de trabajo según se fabriquen
40	ESPERO A QUE ME SUELDEN		
41	ME SUELDAN		
42	ME DEPOSITAN EN LA BANDEJA		
43	ESPERO A QUE SE FINALICE EL PROCESO DE LOS DEMÁS TU		
43.1	ME INSPECCIONAN	Unidad de desplazamiento en la bandeja	Se debe dar salida por tubos soldados en la jornada
44	ME PROCESAN EN EL SISTEMA		
45	ME DESPLAZAN A LA ZONA DE ESPERA PARA LIMPIEZA		
46	ESPERO A QUE ME ASIGNEN TURNO		
46.1	ME DESPLAZAN AL PUNTO DE LIMPIEZA	Tubos bloqueados pendientes de limpiar	
46.2	ESPERO TURNO DE LIMPIEZA	Unidad de desplazamiento bandeja	
47	ME LIMPIAN Y PROTEGEN		
48	ME DEPOSITAN EN LA BANDEJA Y ME DESPLAZAN		
49	ME PROCESAN EN EL SISTEMA		
50	ESPERO A QUE ME ASIGNEN DESTINO Y ME LLEVEN		Espera de necesidad de montaje

Ilustración 82. Análisis de causas

Con objeto de mejorar el proceso orientándose al cliente interno que en la mayoría de los casos es el montaje en bloque, en grada o en el muelle de armamento, se han identificado las siguientes ineficiencias importantes que provocan consecuencias negativas para los clientes internos:

1. Flujo de materiales: muy lento y con muchas paradas

- El curvado se optimiza en función de la reducción de cambios de utillaje, es decir, se corta más cantidad de materia prima de la capacidad de fabricación del taller.

Una parte de estos tubos no son prioritarios en las siguientes etapas y colapsan la fabricación, avanzando muy lentamente y además, al final del proceso, son almacenados por esa falta de prioridad.

- La fabricación se agrupa por bloque/buque, lo que retiene los tubos en los palés hasta que estos han sido totalmente elaborados y el palé completado. Los problemas aparecen cuando, por ejemplo, en un bloque de 80 tubos faltan por elaborar dos o tres puesto que los tubos permanecen en el taller hasta que se completa el lote, no estando disponibles para el montaje el resto de tubos ya elaborados
- En la zona de soldadura se acumulan los tubos debido a que los palés llegan en “oleadas”, desde la fase anterior.
- En la zona de limpieza también se acumulan los tubos debido a la llegada en oleadas de los palés con los materiales que se elaboran en otros talleres, industria auxiliar, etc.

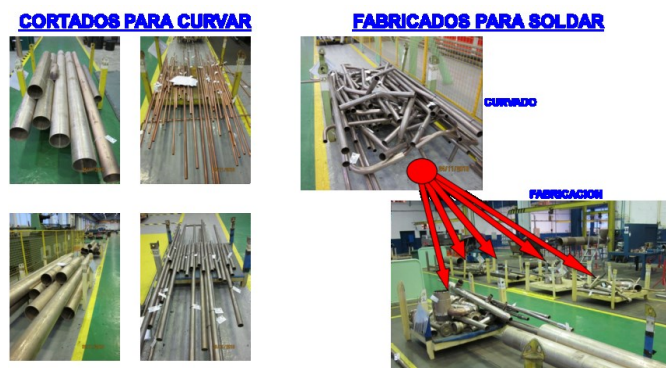


Ilustración 83. Ejemplo análisis de causas

2. Programación tipo “PUSH”

- Los tubos se lanzan al corte y curvado con una programación tipo push. Después estas órdenes de trabajo se priorizan para que salgan los tubos más urgentes.
- Cada etapa del proceso de fabricación produce según las prioridades del cliente final sin tener en cuenta lo que es capaz de procesar su cliente interno (PUSH).
- Existen tubos urgentes que rompen constantemente la programación de todas las etapas y se procesan prioritariamente, pero aun así tardan como mínimo 1 semana en elaborarse.

3. Producción en lote (palé)

- Los palés no avanzan a la siguiente etapa (están bloqueados) hasta que no están procesados todos los tubos que lo contienen (hasta que no se completan).
- Existe una alta cantidad de tubos por palé y es muy variable (de 5 a 50).
- Un alto porcentaje de los tubos se ve obligado a pasar por etapas en las que no se les realiza ninguna operación (p.ej: un tubo recto va dentro del palé al desengrase).
- Cabe destacar además que la producción externa al taller se recibe en lotes enormes (grandes camiones)

4. La distribución de la planta no está orientada al flujo de los materiales

- La zona de desengrasado está alejada del curvado
- Las placas de fabricación están alejadas entre sí
- Se producen muchos desplazamientos para los tubos extrusionados o con injertos (5%).

Esquemáticamente, puede representarse el modelo de trabajo de la situación de partida tal como se muestra en la siguiente figura:

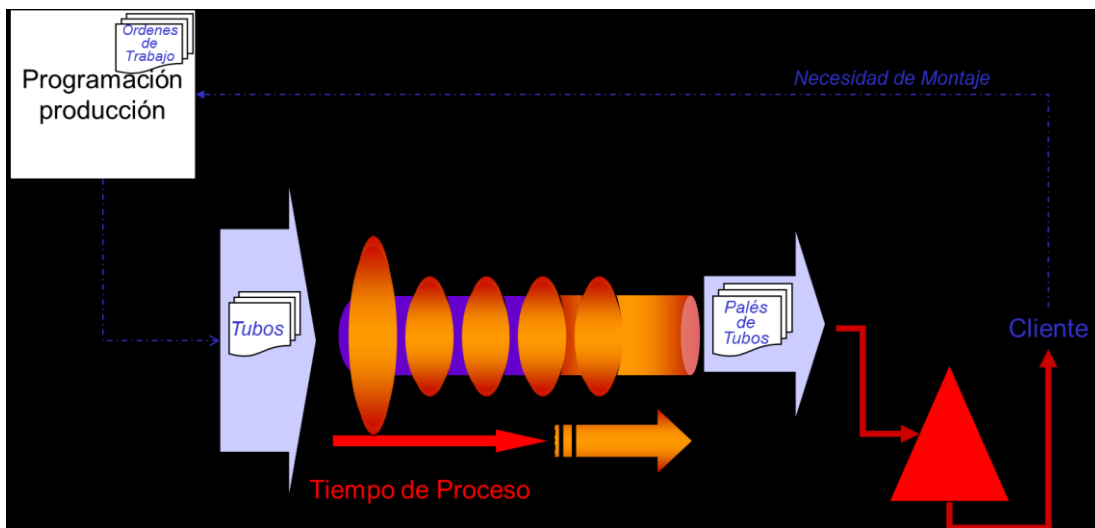


Ilustración 84. Análisis de causas

Con este modelo de fabricación se pueden determinar claramente las consecuencias para el cliente interno:

- Se producen muchos retrasos para completar una línea, lo que impacta negativamente en el montaje
- Las líneas están mezcladas en diferentes palés, con lo que:
 - Son necesarios recursos para el almacenaje de los palés
 - Las búsquedas de tubos son muy laboriosas
 - Se producen pérdidas y deterioros en los materiales

MEJORA DEL PROCESO: PRINCIPALES ÁREAS DE MEJORA

Como el modelo de trabajo de partida no es el más adecuado se realizan las siguientes acciones de mejora:

1. Programación PULL

Esta programación se materializa:

- fabricando solo los tubos que se puedan montar en un breve período de tiempo (en ningún caso la unidad de medida serán meses)
- lanzando líneas completas de elaboración, que puedan ser montadas, y que se ajusten a la capacidad del taller
- fabricando lo que cada cliente interno es capaz de procesar

Situación		Oficina													
Bloque	OTE	Servicio	Iso	Tubo	FE	Inc	CTM	Id	Empresa	Fecha	Bandeja	Accion	Elab		
110	4110081702B	BAL	001	BAL003	No	No	FALSO	FA	Tecnymo	(en blanco)	110P1NOR002002	Nuevo			
				BAL001	No	No	FALSO	FA	Tecnymo	(en blanco)	110SB55I002001	Nuevo			
				DGS006	No	No	FALSO	FA	Tecnymo	(en blanco)	7	Nuevo			
		DGS	002	DGS007	No	No	FALSO	FA	Tecnymo	(en blanco)	3	Nuevo			
				DGS011	No	No	FALSO	FA	Tecnymo	(en blanco)	2	Nuevo			
				DGS008	No	No	FALSO	FA	Tecnymo	(en blanco)	3	Nuevo			
				DGS009	No	No	FALSO	FASL	Tecnymo	(en blanco)	110P1NOR002010	Nuevo			
				DGS010	No	No	FALSO	FA	Tecnymo	(en blanco)	110P1NOR002011	Nuevo			
				DGS002	No	No	FALSO	FA	Tecnymo	(en blanco)					
				DGS003	No	No	FALSO	FA	Tecnymo	(en blanco)					
	DGS004	No	No	FALSO	FA	Tecnymo	(en blanco)								
	DGS005	No	No	FALSO	FA	Tecnymo	(en blanco)								
	VSO	004	VSO001	No	No	FALSO	FA	Tecnymo	(en blanco)	110SB44I002013	Nuevo				
			VSO002	No	No	FALSO	FA	Tecnymo	(en blanco)	110SB44I002014	Nuevo				
			BAL002	No	No	FALSO	FA	Nervion	(en blanco)	130P1NOR002002	Nuevo				
BAL003			No	No	FALSO	FA	Nervion	(en blanco)	130P1NOR002003	Nuevo					
BAL004			No	No	FALSO	FA	Nervion	(en blanco)	130P1NOR002004	Nuevo					
210	4210082703B	BAL	029	BAL011	No	No	FALSO	CPB	Nervion	(en blanco)	130P1NOR002001	Nuevo			
				BAL012	No	No	FALSO	CPB	Nervion	(en blanco)	210EQUP2001001	Nuevo			
				BAL016	No	No	FALSO	CPB	Nervion	(en blanco)	210EQUP2001002	Nuevo			
				BAL017	No	No	FALSO	CPB	Nervion	(en blanco)	210EQUP2001003	Nuevo			
				BAL021	No	No	FALSO	CPB	Nervion	(en blanco)	210EQUP2001004	Nuevo			
				BAL022	No	No	FALSO	CPB	Nervion	(en blanco)	210EQUP2001005	Nuevo			
				BAL001	No	No	FALSO	FA	Nervion	(en blanco)	210EQUP2001006	Nuevo			
				CHW	059	CHW001	No	No	FALSO	CPB	Nervion	(en blanco)	210EQUP2001007	Nuevo	
				CHW002		No	No	FALSO	CPB	Nervion	(en blanco)	210EQUP2001008	Nuevo		
				CHW004		No	No	FALSO	CPB	Nervion	(en blanco)	210EQUP2001009	Nuevo		
		CHW011	No	No		FALSO	CPB	Nervion	(en blanco)	210EQUP2001010	Nuevo				

Ilustración 85. Análisis de causas

2. Lote de transferencia¹⁰⁶ o desplazamiento por unidad (lote unitario)

- Un tubo acabado en un proceso no debe esperar por otros tubos. El palé es simplemente un medio físico necesario de transporte
- Se agrupa por destinos (líneas) al final de la limpieza del tubo.

	DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5	DIA 6
	SE LANZA EL TUBO	SE CORTA Y CURVA EL TUBO	SE FABRICA EL TUBO	SE SUELDA EL TUBO	SE LIMPIA Y PROTEGE EL TUBO	SE DISTRIBUYE POR DESTINO
	(Capacidad diaria taller)	DIA 2 SE DESPACHA MATERIAL	(FIFO)	(FIFO)	(FIFO)	

Ilustración 86. Análisis de causas

¹⁰⁶ Básicamente puede decirse que un lote de transferencia es la cantidad de unidades que se agrupan para ser transferidas de una sola vez de un recurso a otro, o de un proceso a otro.



Ilustración 87. Análisis de causas

3. Orientar la disposición en planta del taller al flujo de materiales
 - Acercando la zona de fabricación 3 al flujo de fabricación
 - Moviendo la zona de mecanizado
 - Desplazando la sierra de gran capacidad
 - Desplazando la fragua a la zona de curvado
4. Eliminar las paradas innecesarias del material en curso, mediante la unión de puestos (u operaciones) siempre que sea posible
 - Eliminando las “bandejas de salida” en las operaciones
 - Uniendo los puestos de Corte, curvado y desengrase
 - Llevando los tubos rectos directamente a fabricación y los que no llevan soldadura a limpieza.
 - Entregando los accesorios del almacén directamente en fabricación
 - Integrando la placa de fabricación nº 3 en el flujo de fabricación

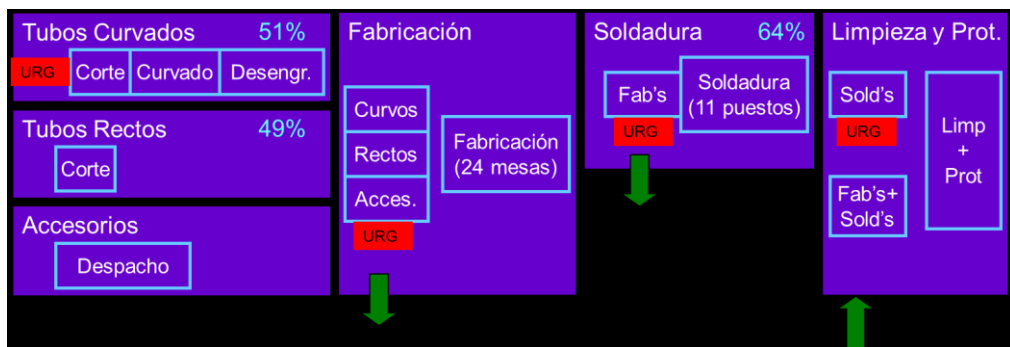


Ilustración 88. Análisis de causas

A modo de resumen:

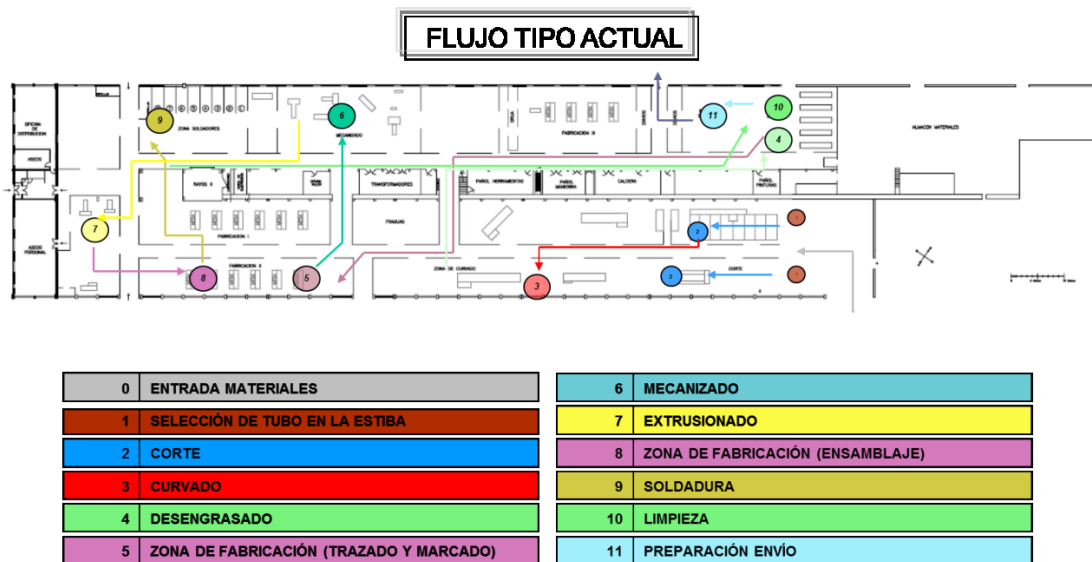


Ilustración 89. Flujo actual del taller



Ilustración 90. Disposición en planta actual

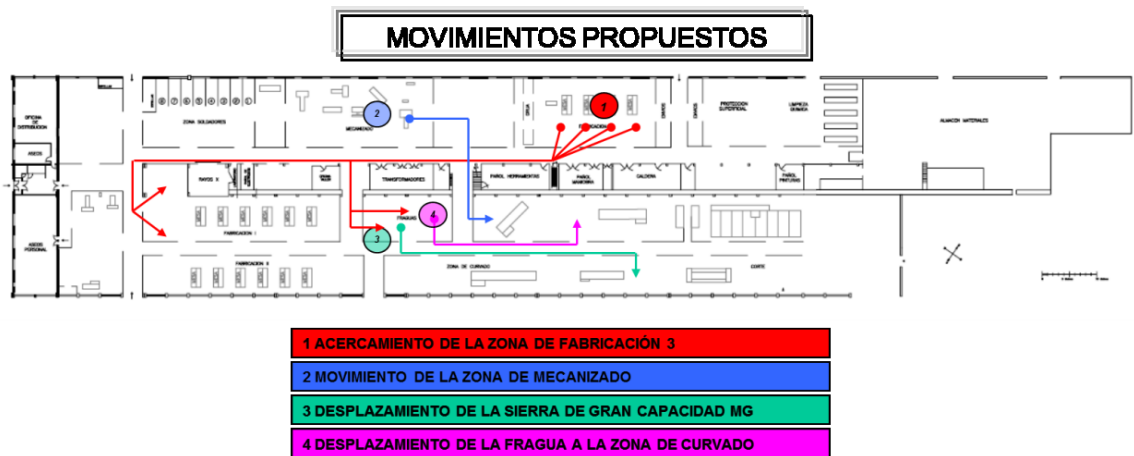


Ilustración 91. Movimientos propuestos



Ilustración 92. Nueva disposición en planta

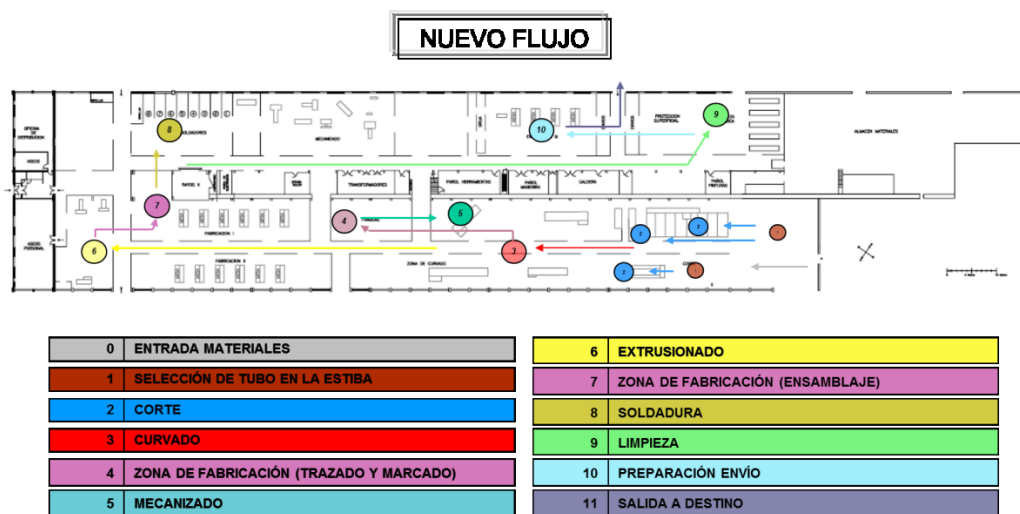


Ilustración 93. Nuevo flujo propuesto

INDICADORES	SITUACIÓN DE PARTIDA	SITUACIÓN DESPUÉS
Tiempo de Elaboración	6 semanas y alta variabilidad (1 a 20 semanas)	6 días de media Variabilidad de 4 A 15 días
Circulante	+/- 3100 tubos (+ 800 elaborados pte. entrega)	+/- 350 tubos/día
Nº Transportes	16	10
Distancia transportada por tubo	525 metros	325 metros
Manipulación	29 veces "coger / dejar"	18
Nº de esperas	21	14

Ilustración 94. Comparativa situación antes y después

INDICADORES	% TIEMPO REDUCIDO
Tiempo de Elaboración Lead Time	80 %
Circulante	88,71 %
Nº Transportes	37,5 %
Distancia transportada por tubo	38 %
Manipulación	38 %
Nº de esperas	33,33 %

Ilustración 95. % de tiempo reducido

Como conclusión y para hacerse una idea de lo que supone esta reducción y su impacto en el proceso de construcción de un buque, mencionar que en un buque tipo flotel como el que se ha utilizado para este análisis se fabrican aproximadamente unos 17.000 tubos.

La situación después de implantar las mejoras es la siguiente:

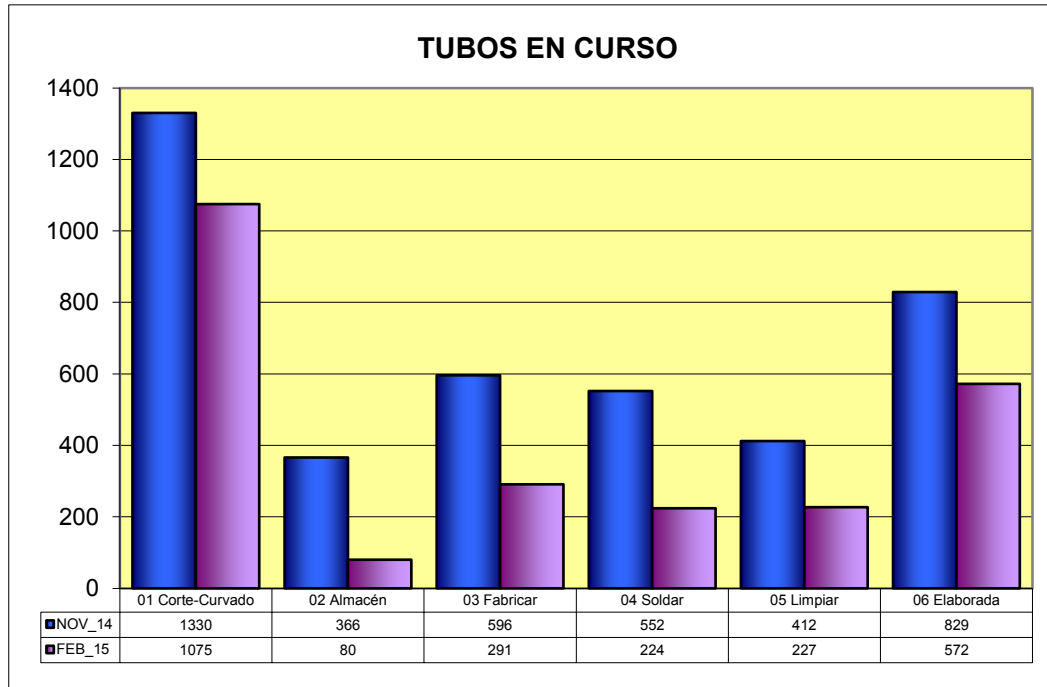


Ilustración 96. Tubos en curso

Las métricas para la fabricación de un tubo tipo son ahora:

OPERACIÓN	TIEMPOS (minutos)	TUBOS EN CURSO 26/11/14	TUBOS EN CURSO 09/02/15
Corte	15 min	1.330 tubos	1.075 tubos
Curvado	30 min		
Desengrasado	10 min		
Fabricación (con Corte, etc.)	2 h	596 tubos	291 tubos
Soldadura	2 h	552 tubos	224 tubos
Limpieza y Protección	20 min	412 tubos	227 tubos
Evolución			-36 %

Ilustración 97. Evolución del inventario en curso

4.3.1.- Taller de Habilitación

4.3.1.1- Metodología 5S

En los dos puntos anteriores ya se ha explicado en qué consisten las 5S.

Podemos decir que, a simple vista, algunas de las mejoras que podemos destacar con la aplicación de las 5S, serían:

- aumentar la eficacia del personal y la organización
- elevar la moral de los trabajadores
- crear una buena impresión a los clientes
- mejoras en la productividad
- disminución de desperdicios/despilfarros
- simplificación del trabajo diario
- reducción de accidentes
- mejorar el entorno de trabajo, etc.

Las 5S junto con el mantenimiento autónomo son los cimientos para levantar el edificio Lean de la mejora continua, por eso quien no sea capaz de implementar y desarrollar un entorno 5S permanente en su área, taller, oficina o empresa, no será capaz de desarrollar nada duradero en calidad, gestión y producción, es decir en Lean.

A continuación se muestran algunos ejemplos de antes y después de la implantación de 5S en el taller de habilitación.



Ilustración 98. Ejemplo antes-después de la etapa de organización (1ª S)



Ilustración 99. Ejemplo antes-después de la etapa de orden (2ª S)



Ilustración 100. Ejemplo antes-después de la etapa de orden y control visual (2ª y 4ª S)



Ilustración 101. Ejemplo antes-después de la etapa de limpieza (3ª S)



Ilustración 102. Ejemplo del taller durante la última etapa de la implantación de las 5ª S

4.3.1.2- Mantenimiento autónomo

El objetivo al realizar el mantenimiento autónomo en este taller ha sido contar con la máxima disponibilidad y eficiencia de la maquinaria e instalaciones para afrontar la construcción de un nuevo buque.

Cuando se trata de mejorar la disponibilidad de una determinada máquina lo que se busca es aumentar el tiempo que está operativa y disponible para producir con normalidad en el taller.

Esta actividad ha sido realizada siempre por un equipo mixto, integrado por operadores y personal de mantenimiento de la instalación o máquina elegida, compartiendo el conocimiento y experiencia de la máquina desde sus respectivos puntos de vista.

Básicamente se realiza un análisis detallado de todos los subsistemas que forman parte de la instalación, describiendo su funcionamiento e identificando sus elementos críticos.

El resultado final es un Libro de Máquina que describe el funcionamiento de la misma y una Gama de Mantenimiento de operaciones simples y frecuentes que serán llevadas a cabo sistemáticamente por los operadores de la instalación.

En el taller de habilitación o de chapa fina se realizaron cuatro actividades de mantenimiento autónomo sobre las siguientes máquinas:

- Máquina de corte por plasma ESAB Pegasus
- Máquina de corte por plasma Plasma Lovent
- Cizalla Universal Gairu MF-10
- Cizalla Universal Gairu MF-20

Una vez realizados, las principales anomalías encontradas fueron problemas con los sensores (por ejemplo un sensor anticolidión, o un sensor que no detectaba el movimiento, como otro sensor de control de altura, etc.), con un cilindro de control de altura que estaba bloqueado, antorchas de corte que no funcionaban correctamente, caudalímetros que se rompían con facilidad, desajustes en ejes,

falta de lubricación, falta de aislamiento en mangueras, incluso problemas de software y una pantalla de visualización de datos donde no se veían las letras por culpa de la luz ambiental.



Ilustración 103. Máquina de corte por plasma ESAB Pegasus



Ilustración 104. Máquina de corte por plasma Plasma Lovent

4.3.1.3- Taller KAIZEN

Ya se ha explicado con el taller de elaboración y previas en que consiste un taller Kaizen. Decíamos que el objetivo de estos talleres de mejora kaizen es formar y guiar en el diseño y aplicación de técnicas “kaizen”, adecuadas a las necesidades específicas de cada taller, especialmente aquellas relacionadas con la identificación/eliminación del desperdicio y la mejora de la calidad y efectividad.

El objetivo de esta iniciativa de mejora en el proceso de fabricación de los conductos de ventilación ha sido reducir el tiempo de elaboración de un conducto desde el lanzamiento de la orden de corte al taller hasta la entrega del bloque completo.

Para ello a su vez se han marcado objetivos intermedios, como son mejorar el flujo de materiales en el taller y de reducir el material circulante de conductos en el mismo.

El estudio realizado ha tenido en cuenta las operaciones siguientes:

1. Preparación de trabajos
2. Corte por plasma
3. Repasado
4. Curvado
5. Punteado
6. Soldadura
7. Preparación para su entrega

Se ha elaborado un diagrama geográfico que nos ha ayudado a entender a través de su análisis, el flujo físico de las diferentes actividades involucradas en el proceso, lo cual permite a su vez identificar el exceso en los desplazamientos y las demoras de almacenamiento de los productos intermedios resultantes del trabajo y/o de los recursos.

Este diagrama de flujo geográfico sirve también para analizar los patrones de tráfico o movimiento de los diferentes productos intermedios dentro del taller, lo que nos permite identificar áreas congestionadas, la distancia recorrida por cada producto

intermedio, o la distancia recorrida desde que la materia prima entra en el taller hasta que sale del mismo ya convertido en conducto listo para su envío al exterior para su pintado.

La situación de partida antes de realizar el taller kaizen, incluidas algunas de sus métricas, puede verse reflejada en las tablas siguientes, resultado del análisis del proceso:

DIAGRAMA Producto - Proceso

Proceso: Elaboración conductos de ventilación		Fecha: 19/10/2013				
Unidad de Estudio: Bloque de conductos						
Nº Item	Descripción	Simbolos	Distancia (m)	Cantidad almacenada	Método Transporte	Observaciones
1	Se descatigan	1			Carra	
2	Se catillizan	1				Comprados de OT
3	Se catillizan en línea	1	19		Carra	
4	Se pegan a la lengüeta de Corte	1		2		
5	Se transportan a corte	1	25			Demarcación por línea HOJALDE CORTE a CUADERNILLO. Puntos a Colocar
6	(Se Corta en Plancha o Cuadrón)	1	1920°			Se pinta por trabajo. Se conllega un trabajo.
7	Se descatigan en la máquina	1	3	2	Corta a Manual	
8	Se pegan recuadro	1			Transport	
9	Se transportan a zona de radio	1	60			
10	Se separan conductos	1	1720°			Atención a Pintas
11	Se agrupan por conducto (fabricado de plomo a contener)	1				trabajo y auto control de material
12	Se llevan a conformado	1	139		Transport	
13	Conductos de CIRCULARS	1				
14	Se espesa de Plomo	1				
15	Se Pinta	1	2400°			
16	Se pegan a que se recoge el sistema	1				
17	Se llevan a la mesa de pintado	1	15		Transport	
18	Conductos de CIRCULARS	1				
19	Se espesa de Plomo	1				
20	Se Curado	1	3620°			
21	Se pegan a que se recoge el sistema	1				
22	Se llevan a la mesa de pintado	1	36		Transport	
23	Se pinta ambos conductos	1				
24	(Se Pinta)	1	8400°			Se pinta transportada.
25	Se llevan al subconductor	1				
26	Se separan los partes de conductura	1	1200°			
27	Se pegan la conductura	1		2	Transport	
28	Se llevan a la cabina de sistema	1	27			
29	(Se Lavan)	1	9720°		Transport	Actualmente se subconductor en un día porcentaje. 2. Operación en subconductor. Atención.
30	Se pegan al finalizado a acabado	1		3	Transport	
31	Se llevan al acabado	1	62			
32	Se pegan al acabado	1		1	Transport	
33	(Se Lavan) (Combinación Brillo, y Neutral, Equilibrado, Limpieza progresiva)	1	3220°			
34	Se pegan al transporte a Pintado	1				
35	Se transportan a Cabina de Pintado	1				
36	Subconductor del PINTADO	1				Carretillo con freno
37	Se cargan los pintados	1				
38	Se pegan al pintado	1		1		Carretillo con freno
39	Se pegan al pintado	1	1485°			
40	Se transportan al Almacén	1				
41	Se transportan al Almacén	1				
42	Se transportan al Almacén	1				
43	Se transportan al Almacén	1				
44	Se transportan al Almacén	1				
45	Se transportan al Almacén	1				
46	Se transportan al Almacén	1				
47	Se transportan al Almacén	1				
48	Se transportan al Almacén	1				
49	Se transportan al Almacén	1				
50	Se transportan al Almacén	1				
51	Se transportan al Almacén	1				
52	Se transportan al Almacén	1				
53	Se transportan al Almacén	1				
54	Se transportan al Almacén	1				
55	Se transportan al Almacén	1				
56	Se transportan al Almacén	1				
57	Se transportan al Almacén	1				
58	Se transportan al Almacén	1				
59	Se transportan al Almacén	1				
60	Se transportan al Almacén	1				
61	Se transportan al Almacén	1				
62	Se transportan al Almacén	1				
63	Se transportan al Almacén	1				
64	Se transportan al Almacén	1				
65	Se transportan al Almacén	1				
66	Se transportan al Almacén	1				
67	Se transportan al Almacén	1				
68	Se transportan al Almacén	1				
69	Se transportan al Almacén	1				
70	Se transportan al Almacén	1				
71	Se transportan al Almacén	1				
72	Se transportan al Almacén	1				
73	Se transportan al Almacén	1				
74	Se transportan al Almacén	1				
75	Se transportan al Almacén	1				
76	Se transportan al Almacén	1				
77	Se transportan al Almacén	1				
78	Se transportan al Almacén	1				
79	Se transportan al Almacén	1				
80	Se transportan al Almacén	1				
81	Se transportan al Almacén	1				
82	Se transportan al Almacén	1				
83	Se transportan al Almacén	1				
84	Se transportan al Almacén	1				
85	Se transportan al Almacén	1				
86	Se transportan al Almacén	1				
87	Se transportan al Almacén	1				
88	Se transportan al Almacén	1				
89	Se transportan al Almacén	1				
90	Se transportan al Almacén	1				
91	Se transportan al Almacén	1				
92	Se transportan al Almacén	1				
93	Se transportan al Almacén	1				
94	Se transportan al Almacén	1				
95	Se transportan al Almacén	1				
96	Se transportan al Almacén	1				
97	Se transportan al Almacén	1				
98	Se transportan al Almacén	1				
99	Se transportan al Almacén	1				
100	Se transportan al Almacén	1				

◯ Procesado ◊ Inspección ⇨ Transporte ▽ Almacenado / Espera
 Total: 688 h
 2400
 1000

Ilustración 105. Análisis del proceso: datos de la situación de partida

De igual manera que en los estudios de los puntos anteriores y como consecuencia de este análisis se han detectado y se han puesto de manifiesto las principales

causas que hacen que se produzcan ineficiencias en el proceso de fabricación. Como es de esperar coinciden con las mismas que en los casos anteriores:

- Interrupciones del flujo del material
- Tiempos de espera
- Transportes y manipulaciones innecesarios, etc.
- Tipo de programación y transmisión de la demanda: “PUSH”
- Producción en lotes grandes
- Falta de coordinación entre flujos diferentes
- Complejidad del taller, etc.

Veamos más datos de la situación de partida:

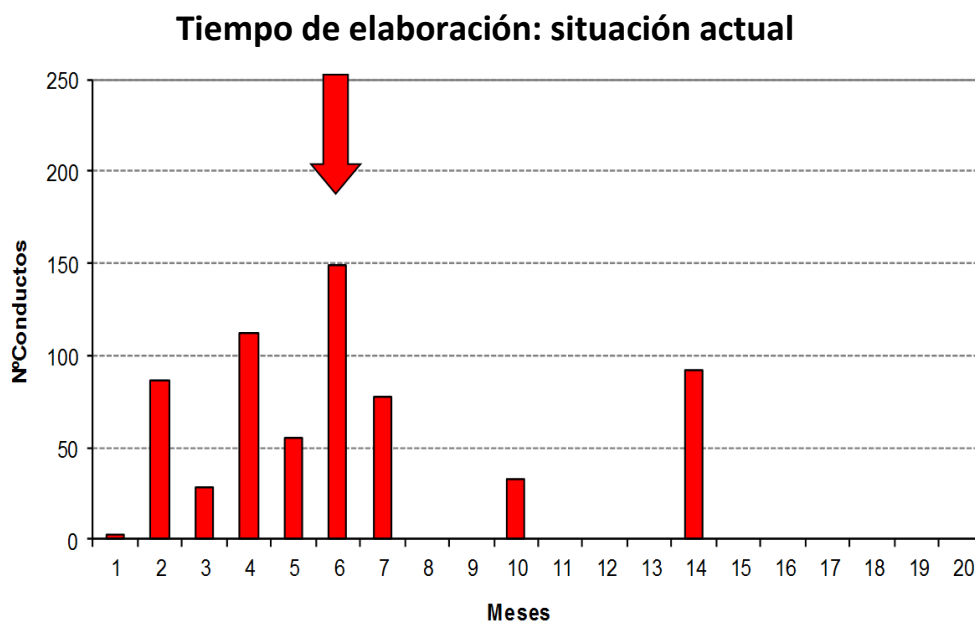


Ilustración 106. Análisis del proceso: datos de la situación de partida

Tiempo total de la situación actual, (desde el corte hasta la entrega)

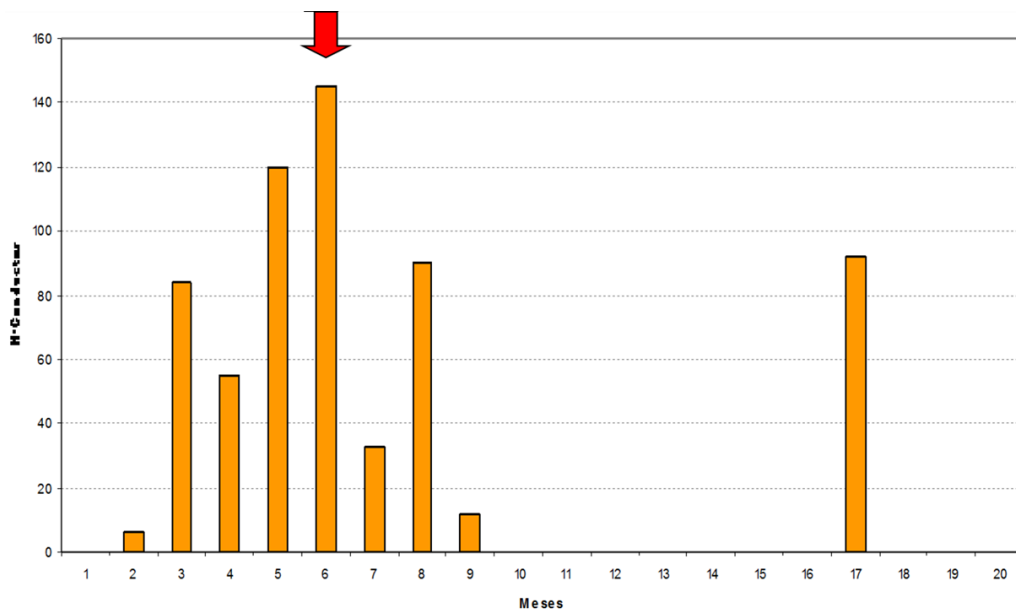


Ilustración 107. Análisis del proceso: datos de la situación de partida

Se han identificado demasiados puntos de espera y almacenaje de cantidades ingentes de inventario a la espera de ser procesado, o en su caso productos intermedios ya elaborados a la espera de ser transportados al montaje en el taller de prefabricación, en la grada o en el muelle de armamento, etc.



Ilustración 108. Área de almacenaje de tubos a la espera de ser transportados para su montaje



Ilustración 109. Área de almacenaje de tubos a la espera de ser transportados para su montaje



Ilustración 110. Área de almacenaje de tubos a la espera de ser transportados para su montaje



Ilustración 111. Área de almacenaje de tubos a la espera de ser transportados para su montaje

Durante este análisis del proceso se han medido los tiempos de valor añadido necesarios para la elaboración de un conducto. Debido a la gran diversidad de materiales, diámetros y espesores en la tabla posterior se indican valores medios aproximados.

Este tiempo no incluye el tiempo necesario para su pintado en el exterior:

OPERACIÓN	TIEMPO DE PROCESO (minutos)
Corte por plasma	25
Repasado	30
Plegado	40
Curvado	60
Punteado	115
Soldadura	150
Preparación para la entrega	50
TOTAL	470

Ilustración 112. Área de almacenaje de tubos disponibles para montaje

INDICADORES	SITUACIÓN DE PARTIDA
Tiempo de Elaboración + Fin de elaboración desde el corte hasta la entrega	6 meses
Stock en curso	8 bloques (desde cortado hasta acabado)
Nº Transportes	13
Distancia transportada por conducto (media)	386 metros
Nº de esperas	11

Ilustración 113. Indicadores de la situación de partida

ANÁLISIS DEL DESPERDICIO

Con esta situación de partida ponemos el foco en la mejora del proceso a través de la eliminación del despilfarro, tal y como ya hemos hecho en los casos anteriores.

Una vez calculadas las métricas y datos clave de la situación de partida se procede a su riguroso estudio para identificar los problemas productivos que originan dichos números, su causa raíz y la propuesta de mejora que la elimine y si no es posible la minimice al máximo.

IDENTIFICACIÓN DE DESPLIFARROS Y MEJORA DEL PROCESO: PRINCIPALES ÁREAS DE MEJORA

El modelo de trabajo de partida no es el más adecuado pues se han identificado ineficiencias importantes que se materializan en continuos desperdicios en los procesos analizados.

Con objeto de mejorar el proceso orientándose al cliente interno que en la mayoría de los casos es el montaje en bloque, en grada o en el muelle de armamento, se han identificado las siguientes importantes ineficiencias que provocan consecuencias negativas y en algunos casos graves, en la forma de trabajar de los clientes internos:

1. Flujo de materiales: muy lento y con muchas paradas

La distribución en planta no está orientada al flujo de los materiales. Se propone mejorar la distribución en planta mediante:

- Un lay-out orientado al producto, acercando las zonas de fabricación
- Acercar en la medida de lo posible las operaciones del proceso
- Implantar un sistema de gestión de visual para el stock máximo en curso

2. Programación tipo “PUSH” vs “PULL”

El proceso de punteado y soldadura debe “tirar” de los procesos anteriores.

Al igual que en el caso de la tubería, los conductos se lanzan al corte y curvado programando tipo PUSH. Después estas órdenes de trabajo se priorizan para que salgan los conductos más urgentes.

Cada proceso de fabricación produce según las prioridades del cliente final sin tener en cuenta lo que es capaz de procesar su cliente interno (PUSH).

A veces existen conductos urgentes que rompen la programación de todas las etapas y se procesan prioritariamente.

3. Producción en lote

Hacer un lote de transferencia o desplazamiento por unidad (lote unitario, es decir el lote es igual a un conducto de ventilación).

Un conducto acabado en un proceso no debe esperar a ser procesado.

Los conductos serán clasificados ya desde el corte.

4. Eliminar esperas y almacenamientos intermedios

Eliminar las paradas innecesarias del material en curso, mediante la unión de puestos (u operaciones) siempre que sea posible.

5. Regularizar los envíos a pintura en el exterior

Se propone estandarizar un envío cada 20 conductos.

El análisis de causas que producen las ineficiencias detectadas puede verse en la siguiente tabla:

IDENTIFICACIÓN DE CAUSAS Y SOLUCIONES				
Nº	Fenómeno	Problema	Causa	Solución
	6	Todas las piezas salen mezcladas por bloque forma de depositar los materiales agrupados por conductos	Por la optimización del material	Mejorar el marcado para poder separar por conducto desde la salida de la máquina de plasma. También que salgan las piezas marcadas para facilitar el curvado/plegado.
	7			Diseñar el contenedor adecuado. Palet, bandeja o...
	10	No está estandarizada la operación	Algunas personas pasan el cepillo otros no,....	Estandarizar
	10	Provoca ruido y polvo	amolado y fresado	Unirlo al proceso anterior y poner cabinas individuales
	10	Fresado de aluminio	Puede hacerse junto con el curvado	Poner herramienta y mesa junto a las curvadoras
	10	Cabinas de repasado		Fabricar cabinas cerradas
	10	Repasado de aluminio. Colocación de herramientas		
	11	No está estandarizado la forma de marcado		Estandarizar
	11	Se hace desde el corte (nº 6)		Hacerlo en el fenómeno 6. Eliminarlo
	14B	3 líneas de curvado		Separar por espesores; pequeño, mediano y grande. Mover las curvadoras según lay-out, enfrente de las cabinas de punteado y junto a las plegadoras
	14B	Simular el curvado con la nueva colocación de las curvadoras		
	17	cabina de punteado	lugar para dejar el material	
	22	Soldadura externa		Poner zona enfrente de la cabina
	26	Zona nueva de Acabado		Definir zona dimensionada en la unidad de envía. Fijar un ritmo regular.
	28	Envío de piezas acabadas al pintado	No es necesario enviar el bloque entero	Separar en zonas; pendientes, hechas, en curso. Retirar las máquinas de la zona.
		Dimensionar las zonas de stock en curso para garantizar el FLUJO FIFO		Crear lotes de envío de mayor frecuencia, adaptándose al tamaño de la unidad de pintado (20 conductos)
		Cambia la manera de dar ordenes al Taller		Garantizar el FIFO en el proceso del Corte a la soldadura
				Definir el flujo de información

Ilustración 114. Análisis de causas

A modo de resumen:

INDICADORES	SITUACIÓN DE PARTIDA	SITUACIÓN DESPUÉS
Tiempo de Elaboración + Fin de Elaboración desde el corte hasta la entrega	6 meses	6 semanas
Stock en curso	8 bloques (desde cortado hasta acabado)	Máximo 3 conductos por puesto
Nº Transportes	13	11
Distancia transportada por conducto	386 metros	113 metros
Nº de esperas	11	4

Ilustración 115. Indicadores antes-después

INDICADORES	% REDUCCIÓN
Tiempo de Elaboración + Fin de Elaboración desde el corte hasta la entrega	75 %
Stock en curso	62,5 %
Nº Transportes	15,38 %
Distancia transportada por conducto	70,73 %
Nº de esperas	63,64 %

Ilustración 116. Porcentaje reducción

4.3.- ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

El estudio llevado a cabo en esta tesis ha permitido analizar con detalle los procesos de fabricación desde dos ópticas muy diferentes, primero desde una óptica tradicional, casi podríamos decir que de fabricación en masa, donde el buque se construía en base a unos procesos que apenas habían cambiado en los últimos 30 o 40 años salvo por las mejoras tecnológicas introducidas.

Y segundo desde una óptica *lean*, donde a lo largo de la tesis se ve como se han aplicado diferentes técnicas y herramientas de este modelo de gestión y como ello afecta positivamente al proceso productivo.

Del análisis comparativo entre los resultados de una y otra se observa con claridad como aplicando técnicas *lean* pueden lograrse mejoras sorprendentes en los procesos, que eran realmente difícilmente imaginables antes de empezar.

Como resultado de las iniciativas de mejora se han conseguido los resultados que a continuación se muestran:

Método de las 5S

1. Aplicando las 5S en el taller de elaborado los beneficios obtenidos después de utilizar esta técnica han sido los siguientes:
 - Se han retirado casi 100 toneladas de material innecesario, parte del cual se catalogó como chatarra y produjo ingresos después de su venta
 - Como consecuencia de implantar las dos primeras S (organización y orden) se han obtenido en el taller 600 m² de espacio libre, y además se ha conseguido que esté mucho más ordenado
 - Se han habilitado en el taller zonas de salida y entrada de material marcadas en el suelo, para detectar errores y evitar menados posteriores innecesarios
 - Después de la tercera S (limpieza) se han establecido unos procedimientos de limpieza para los operadores de las máquinas con lo que se ha mejorado el mantenimiento de las máquinas e instalaciones. Ahora es más preventivo (menos averías y accidentes) y además sin coste para el astillero

- Se han disminuido los riesgos de accidentes mejorando el sistema de manipulación de los perfiles
 - Se ha mejorado sustancialmente la disponibilidad del herramental en la zona de previas
2. En el taller de tubería los beneficios obtenidos después de utilizar esta técnica han sido los siguientes:
- Se ha conseguido aumentar el espacio disponible para almacenaje dentro del taller
 - Se han reducido de manera muy importante los tiempos de búsqueda en los paños y almacenes del taller
 - Se ha mejorado la capacidad de control y gestión de los stocks
 - Se ha generado una dinámica de mejora en cada puesto de trabajo, vital para realizar después otras iniciativas de mayor calado como los kaizen
 - La aplicación de las 5S ha servido para estandarizar los puestos de trabajo. Durante este proceso se ha incrementado el conocimiento de cada puesto de trabajo por parte de los operarios del taller
 - Durante la aplicación de la tercera S se han subsanado apaños y eliminado antiguas instalaciones sin uso, con lo que se han minimizado los riesgos de seguridad
3. En el taller de chapa fina los beneficios obtenidos después de utilizar esta técnica han sido los siguientes:
- Como consecuencia de implantar las dos primeras S (organización y orden) se han obtenido 170 m² de espacio libre solo en el área de elaboración
 - Se ha informatizado el pañol (almacén) de tornillería con lo que se ha conseguido mejorar la eficiencia del despacho y control
 - Se ha mejorado el ámbito de la prevención al cerrar las bandejas de chatarra y definir las áreas de trabajo en el taller
 - Se ha mejorado el control de los stocks de perfiles y tubos en el almacén cambiar el almacenamiento vertical por horizontal

- Se han estandarizado los puestos de trabajo y se han realizado mejoras en la ergonomía de los mismos y en la manipulación de utillajes de máquinas

En términos generales podemos decir que implantando las 5S's se ha conseguido:

- una mejor imagen ante los clientes externos e internos
- en los talleres se han retirado más de 100 toneladas de innecesarios lo que ha dado lugar a la
- recuperación de una superficie de casi 950 m² que antes estaba inutilizada para la actividad productiva.

Cabe mencionar que esta misma aplicación en el caso de los almacenes (incluido el almacén general) ha permitido reducir las 600.000 órdenes de despacho almacenadas en un 72% y se ha reducido el tiempo de búsqueda de la documentación en un 30%.

Mantenimiento autónomo

Como hemos visto se han realizado 9 actividades de mantenimiento autónomo en el taller de elaboración y previas, 8 en el taller de tubería y 4 en el de chapa fina. En total 21 mantenimientos autónomos en los talleres del área de fabricación del astillero, todos ellos a máquinas singulares, con una importancia vital para el proceso productivo pues la parada de una de ellas supondría la parada del proceso productivo en ese taller, con graves consecuencias en términos de plazo, calidad y coste para el buque en construcción.

Como resultado de estas iniciativas se ha trasladado el primer escalón de mantenimiento realizado en la actualidad por el departamento de mantenimiento a los operarios de las máquinas, es decir a producción. Con esta acción se ha conseguido que los operarios de las máquinas realicen una parte de las tareas preventivas sencillas y frecuentes aliviando la carga de trabajo del personal de mantenimiento con lo que puede ahora pueden dedicarse a mantenimientos y reparaciones más complejas

Iniciativas de mejora kaizen

Las iniciativas kaizen se han demostrado como una herramienta de gran utilidad para reducir los tiempos de fabricación de los productos intermedios en el taller y por tanto de la construcción del buque, como puede observarse en las ilustraciones siguientes.

Reducción de tiempo obtenida en % en el taller de Elaboración y Previas

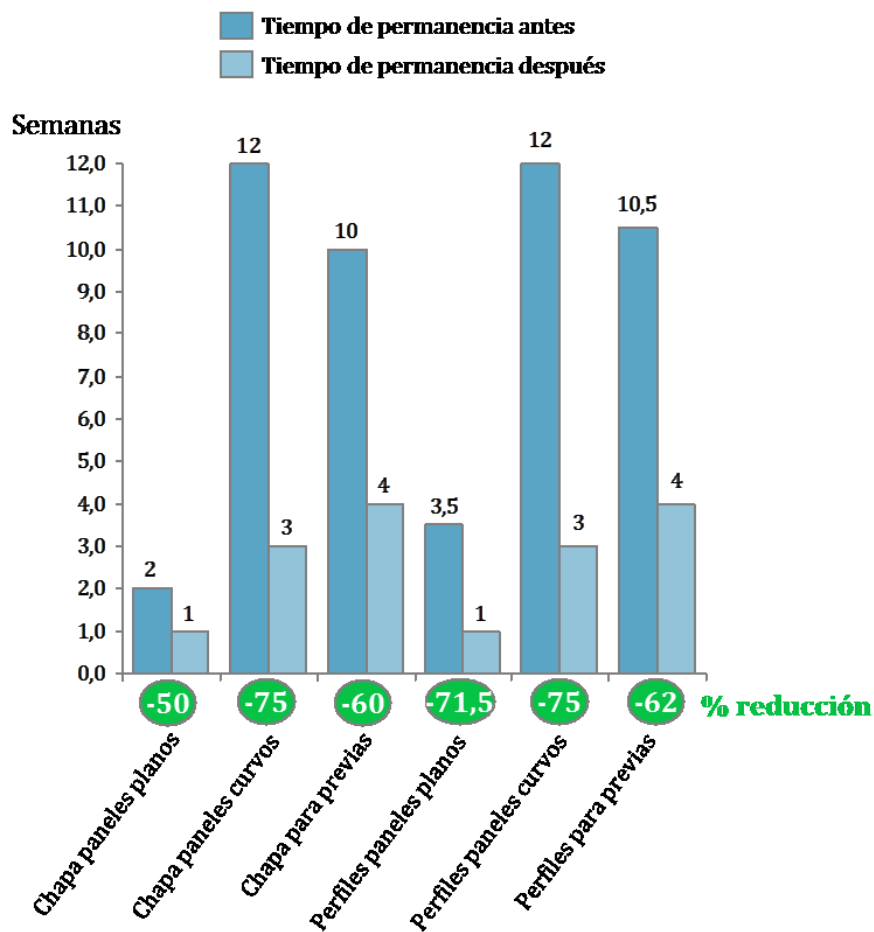


Ilustración 117. Porcentaje reducción

En la ilustración nº 117 se observa la reducción en tiempo que se ha conseguido para el elaborado de distintos componentes de acero estructural del buque con destino a su vez a distintos tipos de productos intermedios.

Hay que tener en cuenta que, aunque estas reducciones son sorprendentes, se han realizado en procesos controlados y bajo un nivel de atención y dedicación máximo durante la realización de toda la iniciativa de mejora.

El gran reto es consolidar las mejoras para que estas reducciones se mantengan o incluso se mejoren a lo largo del tiempo de manera sostenible, sin que para ello sea necesario llevar a cabo una dedicación tan intensa.

Reducción de métricas obtenida en % en el taller de Tubería

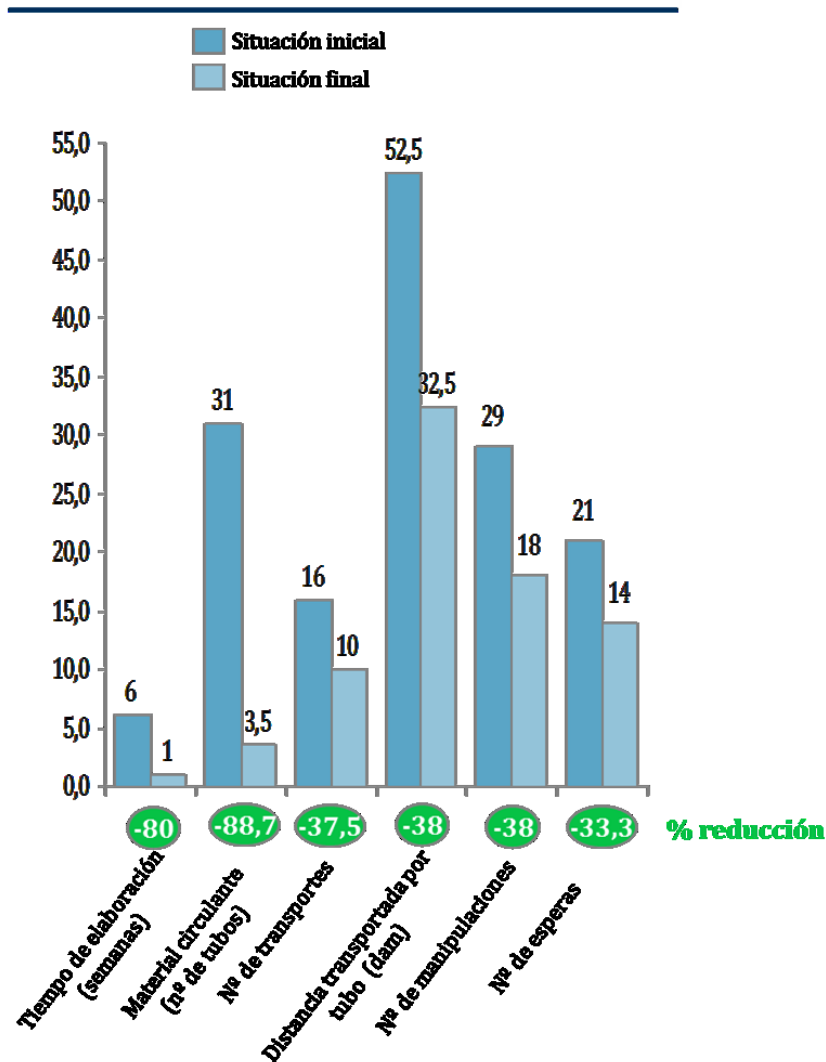


Ilustración 118. Porcentaje reducción

Nota: se usa como unidad de medida de la distancia el dam en vez del metro para que desvirtúe la escala de la gráfica.

En la figura 118 se observa una gran reducción en el lead time de la fabricación de tubería. Ello ha sido consecuencia entre otras medidas, a la disminución drástica del tamaño de lote de fabricación (el ideal es que el tamaño de lote sea la unidad, es decir un tubo o un conducto) y del tamaño de lote de transferencia.

También ha sido necesario, como ya se ha visto, mejorar y organizar el flujo de tal manera que se ha reducido el número de transportes y de manipulaciones casi un 40 por ciento.

Un dato relevante es que se ha reducido la distancia transportada por un tubo dentro del taller en casi un 40%. Si tenemos en cuenta que un buque como el seleccionado para este análisis tiene cerca de 17000 tubos, y de ellos aproximadamente unos 9000 son metálicos y necesitan ser fabricados en el taller, podemos hacernos una idea de la cantidad de kilómetros lineales que estamos dejando de mover el material dentro del taller, y por el cual el cliente no nos paga.

Se ha reducido también más de un 33% el número de esperas, tiempo que el material está parado a la espera de ser procesado o manipulado.

Reducción de métricas obtenida en % en el taller de Habilitación

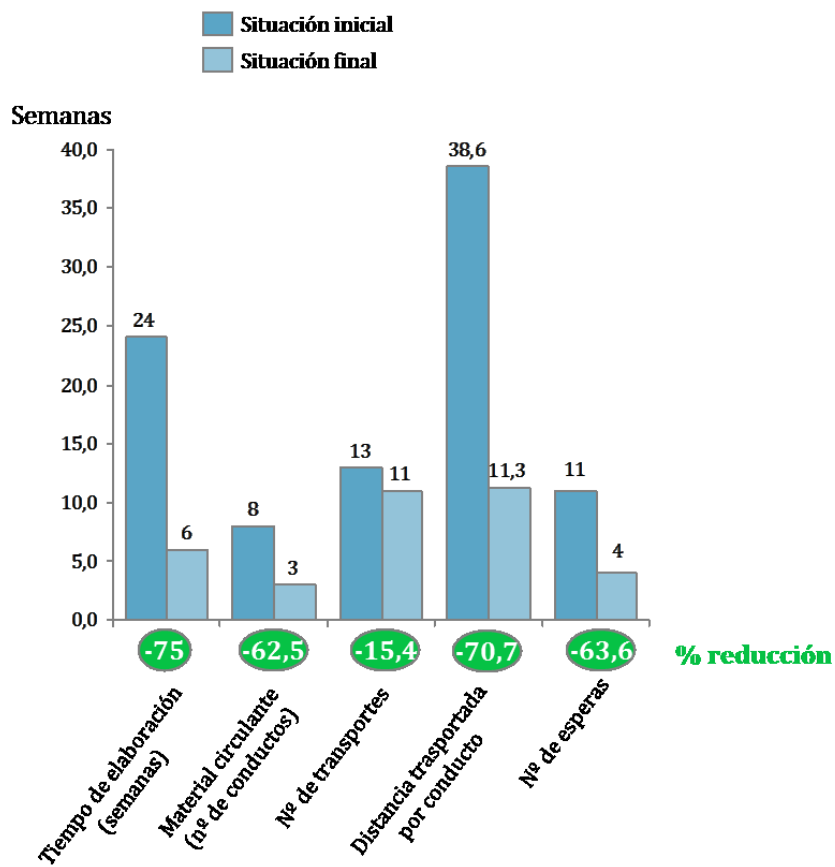


Ilustración 119. Porcentaje reducción

CAPÍTULO V.- CONCLUSIONES

5.1.- CONCLUSIONES

A continuación se recogen, a modo de reflexión final, las principales conclusiones obtenidas en los distintos capítulos de esta tesis doctoral.

Cabe recordar que el objetivo final de la misma ha sido estudiar la implantación y analizar los beneficios obtenidos al aplicar a la construcción naval un nuevo modelo de gestión de procesos, basado en la metodología Lean, que tradicionalmente ha estado ligado al sector del automóvil, centrándose en la fabricación de buques no estándar con naturaleza de prototipo. Este hito es algo inédito, hasta el momento, en el sector naval nacional.

Finalmente, se trata de comprobar si estos beneficios justifican el cambio de modelo productivo de un astillero, con lo que este profundo proceso de cambio supone para toda la organización.

Durante esta investigación se han podido analizar las diferencias en términos de plazo, calidad y coste entre un modelo de fabricación tradicional frente a un nuevo modelo de gestión avanzado que usa como base de desarrollo el Sistema de Producción de Toyota (TPS) y que en los últimos años ha venido a denominarse “*lean manufacturing*” o “*lean construction*”, en función del alcance de la implantación.

El análisis comparativo “antes-después” de la implantación de las 5S y del mantenimiento autónomo ha permitido comprobar las mejoras realizadas en los puestos de trabajo, mejora de las instalaciones y maquinaria, lo cual ha redundado en una mayor calidad de la fabricación.

Mediante las iniciativas de mejora kaizen y la aplicación de una nueva metodología de trabajo, escenificada en los “grupos de prefabricación” y en las “áreas de Prearmamento y de Armamento”, se ha observado que realmente es posible reducir el plazo de fabricación de los productos intermedios, aunque estos no sean iguales, repercutiendo positivamente en el plazo de construcción del buque.

Este capítulo está dedicado a las conclusiones que se derivan de los resultados de esta investigación, pero también a las recomendaciones que resultan de la experiencia vivida durante el desarrollo de la misma.

Cuando se empieza un proceso de transformación *lean*, en la mayoría de las empresas, el primer gran objetivo es “buscar el cambio” en la función de producción, y lamentablemente, en muchos casos, acaba siendo el único objetivo.

Un astillero no es diferente, y hay muchos paradigmas que son necesarios romper poco a poco para llevar a buen puerto un proceso de transformación *lean*. Uno de los principales, y del que más cuesta desligarse, es que la ingeniería no es un fin en sí mismo y que, por tanto, para el proyecto de construcción no puede ser considerada casi como si de un dato se tratase, es decir, el nivel de modificaciones que se pueden proponer al diseño desde la función de producción para la mejora del proceso constructivo siempre ha sido mínimo. Un caso similar ocurre tanto con las compras como con la subcontratación.

Durante la primera etapa de esta investigación surge un escenario en el que las iniciativas Lean estaban orientadas a las funciones, resultando ser un gran error. Con las premisas que se han planteado (integración, trabajo multidisciplinar orientado a producto, etc.), debe decirse que necesariamente hay que integrar el análisis del diseño para orientarlo a esta metodología de trabajo desde la etapa más temprana del proyecto, y a su vez estos deben integrarse con análisis de los flujos de material y flujos de taller.

Se recomienda introducir el nuevo concepto de trabajo por “grupos de prefabricación” y “áreas de prearmamento y armamento”, buscando trabajar por lotes más pequeños, reducir el trabajo en curso, trazar flujos de trabajo maximizando solapes temporales, organizando el trabajo según principios pull y llevar un control más riguroso con ayuda de la programación en base diaria., es decir, trabajando de acuerdo a las bondades mostradas por la metodología Lean.

Tomando estas reflexiones como referencia, e intentando centrar un poco más las recomendaciones se proponen las siguientes conclusiones:

1. Bloques (Estructura)

Considerando a los “grupos de prefabricación” como una nueva herramienta que nos facilita la secuenciación de trabajos, se concluye que para la mejora de los procesos se debe:

- Reorientar la definición de la Estrategia Constructiva hacia elementos repetibles, buscando que los bloques de la misma tipología tengan el mismo número de grupos en lugar de realizar una definición de grupos específica de cada bloque

- Estudiar la incorporación de información sobre grupos de prefabricación en la identificación de las piezas desde diseño
- Estudiar el anidado de piezas por grupos, evaluando si se produce un incremento de desperdicio de chapa en el global del bloque básico. En este punto es importante llegar a un compromiso entre ambos conceptos.
- Analizar los medios de estiba y transporte de piezas, así como los movimientos
 - Dentro del propio taller
 - Entre el taller y su/s cliente/s interno/s.
- Orientación de los flujos de material desde el almacén al trabajo por “grupos de prefabricación”.

2. Bloques (Prearmamento)

Del análisis de los resultados obtenidos, tomando como referencia las “áreas de prearmamento” y considerando éstas como una herramienta de secuenciación de trabajos, se concluye que es necesario:

- Establecer un nivel de secuenciación de trabajos por debajo del nivel de bloque pero superior a la secuenciación de cada uno de los elementos singulares del bloque. Resulta trascendental dar visibilidad a todas las funciones sobre esta nueva organización del trabajo para que puedan responder de acuerdo a las nuevas necesidades que se plantean.
- Establecer los criterios de definición de “áreas de prearmamento” para cada tipología de bloque, estableciendo secuencias tipo de incorporación de elementos y criterios de secuenciación de trabajos entre áreas
- Establecer la estrategia constructiva, al igual que en el caso de la estructura, definiendo áreas para cada uno de los bloques, en base a su tipología
- Estudiar la incorporación de información sobre el área en el diseño de prearmamento o, en su defecto, identificación de atributos que permitan realizar una asignación elemento
- Orientación de los flujos de material desde el almacén al trabajo por áreas.

3. Zonas

Siguiendo la misma estela que en los puntos anteriores, pero tomando como referencia las “áreas de armamento” y considerando éstas como una herramienta de secuenciación de trabajos se concluye que es necesario:

- Profundizar en el criterio de definición del área, evaluando bien el nivel de desglose zona > subzona y estudiando si es necesario bajar a un nivel de detalle mayor
- Establecer criterios para la división del buque en áreas, como unidad sobre la que secuenciar trabajos y como entidades entre las que establecer secuencias
- Establecer criterios para la secuenciación del trabajo en las áreas
- Analizar las posibilidades de conexión con las pruebas de sistemas que sea necesario efectuar
- Establecer criterios de estrategia constructiva generales para todas las zonas, integrando los equipos de trabajo de cada una de ellas
- Analizar modificaciones sobre documentación técnica y órdenes de trabajo para orientar el trabajo a las zonas
- Orientación de los flujos de material al trabajo por áreas de armamento.
- Desarrollar planificaciones integradas a nivel de bloque
- Capacidad de monitorización de recursos y avance de trabajos de programación en ciclo corto
- Coordinación con la función de planificación
- Cuantificación de carga de trabajo, seguimiento de avances, entidades a programar, etc.
- Integración de la programación, visualizando programaciones de bloque que integren y sincronicen los trabajos en diferentes talleres.

4. Seguimiento

- Consolidar estructura de paneles e información necesaria en cada área/ función respondiendo a las necesidades de representación en las salas obeya¹⁰⁷
- Lanzar reuniones diarias de 5 minutos de coordinación de trabajos en todas las áreas

¹⁰⁷ Las salas *obeya* (u *oobeya*) son una de las innovaciones más importantes en control visual del sistema de desarrollo de producto de Toyota, que se usaron por primera vez durante el desarrollo del Prius. Es el espacio de trabajo permanente donde desarrolla su actividad un equipo de trabajo multifuncional y en el que se despliegan diversas herramientas de gestión visual para conocer casi en tiempo real el estado de cada área del proyecto en lo que se refiere a plazos, diseño, estado financiero y los indicadores de rendimiento de los procesos (KPI's) que maneje el equipo, de tal manera que cualquier desviación sobre el plan o los objetivos se detecta casi de inmediato. El objetivo de la sala es facilitar la toma de decisiones en equipo rápidamente en base a los datos allí mostrados, mejorar la comunicación, compartir la información, integrar al equipo, y sobre todo ayudar a la resolución rápida de los problemas así como facilitar el escalado de los mismos.

- Coordinar con calidad la identificación, análisis, seguimiento, escalado y resolución de problemas.
- Identificar KPIs, haciendo especial énfasis en aquellos indicadores que sea interesantes desde la perspectiva del cliente, e integración con las salas obeya
- Analizar el cumplimiento de la programación diaria

Como conclusión final, a partir del análisis de los resultados obtenidos en esta tesis doctoral se evidencia con claridad que:

1. La implantación de la nueva metodología *lean*, apenas usada en la construcción naval española, aporta mejoras de calado en el ciclo de construcción de cualquier buque y en particular en el caso más desfavorable que sería el de un buque no estándar con naturaleza de prototipo, del que solo se construiría una única unidad, afectando de manera importante a los plazos, a la calidad y al coste del producto, una vez que el modelo está consolidado.

En el caso de implementar todas las mejoras propuestas en esta tesis de una manera sostenida en el tiempo, comprendido desde la fase de oferta del buque y hasta la entrega del mismo al cliente, se estima que puede llegar a reducirse el plazo de construcción hasta un 20% mientras que el ahorro en coste podría llegar hasta el 10%.

2. Tan solo la consolidación de las mejoras analizadas unido a un proceso de mejora continua en búsqueda de la excelencia podrán llevar al éxito del desarrollo de esta metodología dentro de un sector naval muy tradicional en cuanto a sus métodos de producción se refiere.

3. El análisis de los datos aportados demuestra, sin lugar a dudas, que el beneficio obtenido al aplicar las técnicas y herramientas *lean* en la construcción naval justifica las dificultades inherentes a cualquier proceso de transformación, que a su vez es necesario para llegar a alcanzar un modelo de gestión avanzado y compatible con la metodología descrita en esta tesis. Esta línea permitirá llegar a ser una empresa mucho más competitiva y sostenible dentro del mercado naval internacional.

Finalmente y tras el estudio realizado durante un período de tiempo significativo en el que se ha podido implementar cambios, obtener datos, intercambiar experiencias, hacer reflexiones conjuntas como parte de un mismo producto, se concluye que los beneficios

obtenidos de la implantación justifican, sin lugar a dudas, las dificultades que supone emprender un proceso de transformación *lean* en el astillero objeto de estudio, mediante la introducción de las técnicas y herramientas aportadas por esta nueva metodología en toda la organización y no solo en la función de producción. Con ello, se han validado los objetivos de la presente tesis.

5.2.- LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN FUTURAS

Se considera como una oportunidad de futuro y por tanto se sugiere como futuras líneas de investigación, profundizar en la implantación de *lean* en las funciones que dan soporte a producción y que son de vital importancia en el proceso de transformación. Por tanto se propone abrir nuevas líneas de investigación de la implantación de *lean* en las zonas del buque así como en las áreas de mantenimiento, recursos humanos y servicios, dirección de administración y finanzas.

Por último se recomienda implantar *lean* en el área comercial, para tenerlo en cuenta durante el periodo de realización de la oferta técnica y comercial con el objetivo de darle al cliente exactamente aquello que cumpla sus requisitos y no más.

CAPÍTULO VI.- REFERENCIAS

6.1.- REFERENCIAS

1. Askin, R. (2002). *Design and analysis of lean production systems*. New York: Wiley.
2. Beigbeder Atienza, F. (1943). *La construcción por partes prefabricadas en la factoría de Matagorda, de la Sociedad Española de Construcción Naval*. Revista de Ingeniería Naval, Nº 97, p. 403.
3. Carnevali Rodríguez, E. (1992): *La Dirección del Astillero, como función específica, factor clave en el proceso productivo*. Ingeniería Naval, abril de 1992, Nº 682, pp. 171-185.
4. Casanovas, A. (2011). Estrategias avanzadas de compras y aprovisionamientos: *lean buying* y outsourcing. Barcelona: Profit.
5. Casanovas, A. (2011). Logística integral: *lean supply chain management*. Barcelona: Profit.
6. Casas Rodríguez, J., García Bernáldez, L., Ley Álvarez, A., Meizoso Fernández, M., Muñoz Moreno, C., Monterde Aparici, M., Suárez Sánchez, P. (1992): *La Construcción Naval en España: Estado del Arte*. Ingeniería Naval, Abril de 1992, Nº 682, pp. 186-203.
7. Castro Hermida, M. (2005). *Los tres caminos para conseguir la excelencia en operaciones seis sigma, lean manufacturing y TOC*. Santiago de Compostela: Escuela de Negocios Caixanova, Tórculo Edicións.
8. Chirillo, L.D., Chirillo, R.D. (1985): *The History of Modern Shipbuilding Methods: The U.S.-Japan Interchange*. Journal of Ship Production, Vol. 1, No. 1, Feb. 1985, pp. 1-6.
9. Cuatrecasas Arbós, L. (2011). *Reflexiones en Lean: comprender e implantar el Lean Management*. Colección de artículos publicados por el Instituto Lean Management. Sabadel: Instituto Lean Management.
10. Cuatrecasas, L. (2010) *Lean management : la gestión competitiva por excelencia : implantación progresiva en siete etapas*. Barcelona: Profit.
11. Cuatrecasas, L. (2010). *TPM en un entorno Lean Management: estrategia competitiva*. Barcelona: Profit.
12. Cuatrecasas, L. (2011). *Volver a empezar: lean management: una novela que transforma el pensamiento de los directivos en ideas y actitudes positivas*. Barcelona: Profit.
13. Davis, John W., (2010). *Lean manufacturing implementation, strategies that work: a roadmap to quick and lasting success*. New York: Industrial Press.

14. Harris, R. (2008). *Crear flujo de materiales: guía para la gestión Lean de materiales: para profesionales en las operaciones, el control de la producción y la ingeniería*. Sabadell: Instituto Lean Management de España
15. Hernández Matías, J.C., Vizán Idoipe, A. (2013). *Lean manufacturing. Conceptos, técnicas e implantación*. Grupo Ingeniería de Fabricación de la UPM. © Fundación EOI.
16. Houpt, S., Ortiz-Villajos, J. M. (1998). *Astilleros Españoles, 1872-1998: La construcción naval en España*. Madrid: LID Editorial.
17. Instituto Marítimo Español.(2008). *La integración de procesos en la Construcción Naval*. URL (<http://www.ime.es>).
18. Jackson, T. (1997). *Implantación de un sistema de dirección lean*. Madrid: TGP Hoshin.
19. Jacob, D. (2011). *Velocidad: combinando el sistema Lean, el Seis Sigma y la Teoría de las Limitaciones para alcanzar resultados excepcionales*. Barcelona: Alienta.
20. Journal of Ship Production. *The U.S.-Japan Interchange*. Vol. 1, No. 1, Feb. 1985, pp. 1-6. URL (<http://www.nsrp.org/>)
21. Martínez, A., Cegarra, J., (2014). *Gestión por procesos de negocio: organización horizontal*. Madrid: Ecobook.
22. Membrado Martínez, J. (2007). *Metodologías avanzadas para la competitividad: Cuadro de Mando Integral, Seis Sigma, Lean. Aplicación a la industria auxiliar de la Construcción Naval*. Revista ingeniería naval nº 853
23. Miguel Pernas, R. (2014). *Análisis, modelización y simulación del proceso de fabricación de un buque. (Trabajo final de carrera)*. Universitat de Vic. Escola Politècnica Superior.
24. Moyano, J. (2010). *Lean Production y gestión de la cadena de suministro: el caso de la industria española de fabricación de equipos y componentes para automoción*. Pamplona: Aranzadi.
25. Primer Informe de la Excelencia en España. (2003). Club de Gestión de Calidad y Modelo EFQM
26. Rajadell Carreras, M., Sánchez García, J.L., (2010). *Lean manufacturing: la evidencia de una necesidad*. Madrid: Díaz de Santos.
27. Rother, M., Shook, J. (2003). *Learning to See: Value-Stream Mapping to Create Value and Eliminate Muda*. Cambridge, USA: Lean Enterprise Institute.
28. Ruiz de Arbulo López, P. (2007). *La gestión de costes en lean manufacturing cómo evaluar las mejoras en costes en un sistema lean*. Oleiros: Netbiblo.

29. Sánchez, T., Palacios, A., Prida, B. (2008) *Conocimiento, aplicación y resultados de las técnicas de Lean manufacturing en las empresas españolas*. XII Congreso de Ingeniería de Organización, Burgos, España.
30. Santos, J., Wysk, R., Torres, J. (2010). *Mejorando la producción con lean thinking*. Madrid: Pirámide.
31. Sarabia Alvarez-Ude, A., Fernández Vázquez, J.C. (1992): *La renovación tecnológica de Astilleros Españoles*. Ingeniería Naval, nº 688, pp. 532-533.
32. Sehested, C. (2011). *Lean innovation: a fast path from knowledge to value*. Berlín Heidelberg Springer-Verlag.
33. URL (http://matdl.org/failurecases/Other_Failure_Cases/liberty_ships)
34. URL (<http://www.nsrp.org/>)
35. URL (<http://global.britannica.com/EBchecked/topic/233217/William-Francis-Gibbs>)
36. URL (<http://www.asenta.es>).
37. URL (<http://www.dioramanet.com/centroeu/uboote/19.htm>)
38. URL (<http://www.u-historia.com/uhistoria/historia/articulos/liberty/liberty.htm>)
39. URL (<http://www.u-historia.com/uhistoria/historia/articulos/liberty/liberty.htm>)
40. URL (<http://www.usmm.org/libertyships.html>)
41. URL (<https://www.fincantieri.it/>)
42. URL(<https://www.mhi-global.com/company/aboutmhi/organization/nagasakiw/index.html>)
43. Vega Sanz, R. y Beltrán Flórez, L. (1959), Ingeniería Naval, p. 484
44. Villanueva Núñez, A. (1947). Ingeniería Naval nº 146, agosto de 1947, p. 503
45. Wilson, Lonnie (2010). *How to implement lean manufacturing*. New York: McGraw-Hill
46. Womack, J., Jones D. (2012). *Lean thinking: cómo utilizar el pensamiento Lean para eliminar los despilfarros y crear valor en la empresa*. Barcelona: Gestión 2000.
47. Womack, J., Jones, D. (2007). *Soluciones Lean: cómo pueden las empresas y los consumidores crear valor y riqueza conjuntamente*. Barcelona: Gestión 2000.