UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN A DISTANCIA
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES

DESARROLLO DE UN MÉTODO VISUAL PARA EL ANÁLISIS Y LA EVALUACIÓN DEL NIVEL DE PRODUCTIVIDAD EN LA FABRICACIÓN INDUSTRIAL BASADO EN LA VARIACIÓN DEL FLUJO DE VALOR

TESIS DOCTORAL

Benjamín T. Rieger
Ingeniero Industrial

2011

Langenau, Alemania

Índice

Índice

	Agradecimientos y listas	
	Agradecimientos	vii
	Lista de figuras	viii
	Lista de tablas	x
	Lista de símbolos y acrónimos	xi
1.	**Introducción**	**1**
1.1.	Antecedentes y motivación	1
1.2.	Definición del problema	2
1.3.	Los objetivos del trabajo	3
2.	**La mejora continua en la productividad industrial**	**5**
2.1.	Historia de la mejora continua	5
2.2.	Descripción de la mejora continua	6
2.2.1.	El valor de un bien de un cliente	6
2.2.2.	Definición del Kaizen	6
2.2.3.	La importancia del tiempo de cambio de herramienta	11
2.2.4.	Los principios clave	13
2.2.5.	Las técnicas	16
2.2.6.	El evento de mejora continua	17
2.2.6.1.	Los conceptos	18
2.2.6.2.	Las herramientas	22
2.2.6.3.	Los métodos de análisis	24
2.3.	La mejora continua del área de fabricación	32
3.	**La productividad en la fabricación industrial**	**34**
3.1.	El caso práctico	34
4.	**El análisis y la evaluación del nivel productivo**	**38**
4.1.	Evaluación financiera	38
4.2.	Evaluación por el perfil coste y tiempo (PCT)	40
4.3.	Métodos de análisis de la literatura	41
4.4.	Conclusiones de la literatura para el desarrollo del método	45
5.	**El desarrollo de un método visual**	**48**
5.1.	Definición del entorno del método nuevo	48
5.1.1.	Definición del usuario y sus requisitos	48
5.2.	El mapeo de flujo de valor adaptado (AVSM) y los elementos de un proceso industrial	49
5.2.1.	El mapeo de flujo de valor adaptado (AVSM)	49
5.2.2.	El coste por hora	53
5.2.2.1.	Definición del coste por hora	54
5.2.2.2.	El coste por hora en el perfil coste y tiempo	55
5.2.2.3.	Propuesta de actuación para mejorar el coste por hora	59
5.2.3.	Los elementos de un proceso y su influencia sobre el proceso total	60
5.2.3.1.	El tiempo de espera	61
5.2.3.2.	El cambio de herramienta	71
5.2.3.3.	El proceso de valor añadido	79

5.3.	El concepto de la inversión	86
5.3.1.	La importancia de la inversión en coste y tiempo	86
5.3.1.1.	El coste de la fabricación	86
5.3.1.2.	El tiempo de la fabricación	87
5.3.1.3.	La relación coste-tiempo	87
5.3.2.	Definición de la inversión del PECOTA	88
5.3.2.1.	Definición matemática de la inversión	88
5.3.3.	Los elementos de la inversión	92
5.3.3.1.	La materia prima	92
5.3.3.2.	El cambio de herramienta	93
5.3.3.3.	El proceso de valor añadido	93
5.3.3.4.	La inversión por espera	94
5.3.4.	La inversión absoluta de un proceso	94
5.3.5.	La inversión durante la fabricación de varios procesos	95
5.3.6.	La inversión en el PECOTA	96
5.3.7.	Aplicación del concepto de la inversión al caso práctico	99
5.3.8.	Relaciones entre las inversiones	114
5.3.8.1.	Relación total de la inversión total	115
5.3.8.2.	Relaciones entre los elementos	116
5.3.8.3.	Otros posibles relaciones de la inversión	117
5.3.8.4.	Metas para las relaciones	120
5.4.	Los límites lean	121
5.4.1.	Los límites lean simple, lean avanzado y lean máximo	121
5.4.2.	Significado de los límites lean	123
5.4.3.	Aplicación de los límites lean en el PECOTA	124
6.	**Resultados**	**129**
6.1.	El método visual del análisis y de la evaluación	129
6.2.	El nuevo coeficiente inversión	131
6.3.	Los límites lean de la fabricación	132
7.	**Conclusiones**	**135**
7.1.	Conclusiones del trabajo	135
7.2.	Futuras líneas de investigación	136
8.	**Bibliografía**	**138**
9.	**Anexos**	**149**
	Anexo A: Diario de un evento de mejora continua	149
	Anexo B: Diagrama de Pareto	150
	Anexo C: Histograma	151
	Anexo D: Hoja de medición de tiempo de un diagrama de Gantt	152
	Anexo E: Diagrama de planificación de Ishikawa	153
	Anexo F: Diagrama de planificación del árbol de la realidad	154
	Anexo G: Hoja de chequeo de los 3 MUs	155
	Anexo H: Gráfico de control de AMEF	156
	Anexo I: Gráfico de control de Spaghetti	157
	Anexo J: Los elementos del VSM	158
	Anexo K: Descripción de un desarrollo de un VSM	162
	Anexo L: VSM del estado inicial	166

Anexo M:	AVSM I (del estado inicial)	167
Anexo N:	AVSM II (del estado final)	168
Anexo O:	Descripción de los valores de la figura 5.10.	169
Anexo P:	Tiempos y costes del PCT I y del PCT II con espera	171
Anexo Q:	Costes de la figura 5.25.	172
Anexo R:	Costes y tiempos de la figura 5.26.	173
Anexo S:	Tabla de las inversiones del PCT I sin espera	174
Anexo T:	Tabla de las inversiones del PCT II sin espera	175
Anexo U:	Tabla de las relaciones de las inversiones sin espera	176

Agradecimientos y listas

Agradecimentos

En primer lugar quiero agradecer a la Universidad Nacional a Distancia de Educación (UNED) de Madrid y en especial al departamento de Ingeniería de Fabricación y Construcción de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales (ETSII) el haberme admitido y hacerme partícipe en el uso de su infraestructura.

Quiero agradecer al Profesor Dr. Miguel Ángel Sebastián Pérez, mi director, por su ayuda y consejos en la realización de la presente tesis. Quiero agradecerle el haberme introducido en el mundo de la investigación y darme la oportunidad de poder realizar mi Tesis Doctoral. Sin su ayuda desinteresada y los conocimientos brindados, esta tesis no hubiera sido posible.

A mi esposa, María Allúe Millán, que me ayudó a superar ciertas dificultades en la realización de la tesis, por su paciencia, su comprensión y su apoyo, sin los cuales yo no podría haber realizado mis estudios.

Figura 5.32. PCT I con espera y las inversiones 111
Figura 5.33. PCT II con espera y las inversiones 112
Figura 5.34. Límites lean simple, lean avanzado y lean máximo en el PCT I 125
Figura 5.35. Límites lean simple, lean avanzado y lean máximo en el PCT II 126

Lista de tablas

Tabla	1.1.	Comparación de los costes laborales	1
Tabla	4.1.	Literatura de los métodos de nivel de productividad	42
Tabla	5.1.	Relación entre el cambio de herramienta y el proceso estado inicial	76
Tabla	5.2.	Relación entre el cambio de herramienta y el proceso estado final	77
Tabla	5.3.	Relación inicial entre procesos de valor añadido y proceso total	82
Tabla	5.4.	Relación final entre procesos de valor añadido y proceso total	82
Tabla	5.5.	Valores de las inversiones absolutas de los procesos de la situación inicial	101
Tabla	5.6.	Valores de las inversiones acumuladas de los procesos (inicial)	101
Tabla	5.7.	Valores de las inversiones acumuladas de la fabricación (inicial)	102
Tabla	5.8.	Valores de las inversiones por cada elemento (inicial)	102
Tabla	5.9.	Valores de las inversiones absolutas (final)	103
Tabla	5.10.	Valores de las inversiones acumuladas de los procesos (final)	103
Tabla	5.11.	Valores de las inversiones acumuladas de la fabricación (final)	103
Tabla	5.12.	Valores de las inversiones por cada elemento (final)	104
Tabla	5.13.	Valores exactos de las inversiones iniciales con espera	113
Tabla	5.14.	Valores exactos de las inversiones finales con espera	114
Tabla	5.15.	Matriz de las relaciones con espera del caso practico	119
Tabla	6.1.	Propuesta de actuación para la curva del PECOTA	130
Tabla	6.2.	Referencias para las inversiones	131

Lista de símbolos y acrónimos

- 5S — Herramienta del evento de mejora continua (*Seiri*/Organización, *Seiton*/Orden, *Seisō*/ Limpieza, *Seiketsu*/Estandarizar, *Shitsuke*/Disciplina)

A

- AMEF — Análisis de modo y efecto de fallo (AMEF)
- AVSM — Mapeo de flujo de valor adaptado (ingles: Adapted Value Stream Map)

C

- C_{AM} — Coste de la amortización
- C_{Icex} — Coste en la curva del PCT I de un estado del proceso x
- C_{IMAx} — Coste del puesto de trabajo del proceso x por hora del estado inicial
- C_{IIMAx} — Coste del puesto de trabajo del proceso x por hora del estado final
- C_{IMPt} — Coste total de la materia prima del estado inicial
- C_{IIMPt} — Coste total de la materia prima del estado final
- C_{IMPx} — Coste del proceso x de la materia prima del estado inicial
- C_{IIMPx} — Coste del proceso x de la materia prima del estado final
- C_{ICHt} — Coste total del cambio de herramienta del estado inicial
- C_{IICHt} — Coste total del cambio de herramienta del estado final
- C_{ICHx} — Coste del proceso x del cambio de herramienta del estado inicial
- C_{IICHx} — Coste del proceso x del cambio de herramienta del estado final
- C_{IVAt} — Coste total del proceso de valor añadido del estado inicial
- C_{IIVAt} — Coste total del proceso de valor añadido del estado final
- C_{IVAx} — Coste del proceso x del proceso de valor añadido del estado inicial
- C_{IIVAx} — Coste del proceso x del proceso de valor añadido del estado final
- C_{IESt} — Coste total de la espera del estado inicial
- C_{IIESt} — Coste total de la espera del estado final
- C_{IESx} — Coste del proceso x de la espera del estado inicial
- C_{IIESx} — Coste del proceso x de la espera del estado final
- C_{Ipet} — Coste total de la fabricación con espera del estado inicial
- C_{IIpet} — Coste total de la fabricación con espera del estado final
- C_{Ipt} — Coste total de la fabricación sin espera del estado inicial
- C_{IIpt} — Coste total de la fabricación sin espera del estado final
- $C_{YLLsim.}$ — Coste total de la fabricación en el límite lean simple del PCT Y
- $C_{YLLava.}$ — Coste total de la fabricación en el límite lean avanzado del PCT Y
- $C_{YLLmáx}$ — Coste total de la fabricación en el límite lean máximo del PCT Y
- $C_{40\%YVAt}$ — Coste del 40% del proceso de valor añadido en todos los procesos del PCT Y
- C_{EN} — Coste de la energía

- C_{IN} Coste inmobiliario
- C_{IS} Coste por los intereses
- C_M Coste del mantenimiento
- CMS Sistemas de fabricación en células (inglés: celular manufacturing systems)

E

- E_{Ix} Espera después del proceso x en el estado inicial
- E_{IIx} Espera después del proceso x en el estado final
- EKUV Concepto del evento de mejora continua (E – Eliminieren (Eliminación), K - Kombinieren (Combinación), U – Umstellen (Cambio), V – Vereinfachen (Simplificación))

I

- $i_{almacén\ hora}$ Interés por hora para todo el material en espera en proceso
- i_{CESpt} Índice de la relación entre el coste por espera total y el coste total de la fabricación del producto
- $i_{YVAtMAtptx}$ Índice basado en la relación entre todos los costes de los procesos de valor añadido y todo el coste del material usado y el coste de la fabricación total del PCT Y
- i_{ICHVAx}: Índice del coste de cambio de herramienta en comparación con el coste del proceso de valor añadido del proceso x del PCT I
- $i_{IICHVAx}$: Índice del coste de cambio de herramienta en comparación con el coste del proceso de valor añadido del proceso x del PCT II
- i_{tESpt} Índice de la relación entre el tiempo de espera de la fabricación total y el tiempo total de la fabricación del bien
- I_{Yx} Inversión del proceso x del PCT Y
- $I_{Yxabs.}$ Inversión absoluta al realizar el proceso x del PCT Y
- $I_{Yxac.pro.}$ Inversión acumulada del proceso x del PCT Y
- $I_{Yxac.fab.}$ Inversión acumulada de la fabricación del proceso x del PCT Y
- I_{Yptx} Inversión total durante el proceso x del PCT Y
- I_{Yt} Inversión total de la fabricación del PCT Y
- I_{YESx} Inversión por la espera durante el proceso x del PCT Y
- I_{YMPx} Inversión por la materia prima durante el proceso x del PCT Y
- I_{YCHx} Inversión por el cambio de herramienta del proceso x del PCT Y
- I_{YVAx} Inversión por el proceso de valor añadido del proceso x del PCT Y
- I_{YESt} Inversión por la espera durante todos los procesos del PCT Y
- I_{YMPt} Inversión por la materia prima durante todos los procesos del PCT Y
- I_{YCHt} Inversión por el cambio de herramienta (todos los procesos) del PCT Y
- I_{YVAt} Inversión por el proceso de valor añadido (todos los procesos) del PCT Y

J

- JIT — Justo a tiempo (inglés: Just in Time)

M

- M_{Ix} — Materia prima añadida durante el proceso x del estado inicial
- M_{IIx} — Materia prima añadida durante el proceso x del estado final

N

- NTED — Cambio de utillaje en las máquinas usadas en la fabricación sin ningún contacto (inglés: No -Touch Exchange of Die)

O

- OTED — Cambio de utillaje en las máquinas usadas en la fabricación por un contacto solo (inglés: One -Touch Exchange of Die)

P

- P_{Ix} — Proceso x de valor añadido y cambio der herramienta del estado incial
- P_{IIx} — Proceso x de valor añadido y cambio der herramienta del estado final
- P_{IVAx} — Proceso de valor añadido x del estado inicial
- P_{IIVAx} — Proceso x del cambio de herramienta del estado final
- P_{ICHx} — Proceso x del cambio de herramienta del estado inicial
- P_{IICHx} — Proceso de valor añadido x del estado final
- PCT — Perfil de coste y tiempo
- PECOTA — Perfil de coste y tiempo basado en el mapeo de flujo de valor adaptado
- Personas — Personas necesarias para la realización del proceso

R

- $R_{I/II(e)MPVAx}$ — Relación de la inversión por materia prima y el proceso de valor añadido (con espera) del proceso x del PCT I/II (posible para cualquier combinación de los elementos materia prima (MP), cambio de herramienta (CH), proceso de valor añadido (VA) y espera (ES)).
- $R_{I/II(e)MPabs.x}$ — Relación de la inversión por materia prima y la inversión absoluta (con espera) del proceso x del PCT I/II
- $R_{I/II(e)MPac.pro.x}$ — Relación de la inversión por materia prima y la inversión acumulada por el proceso x (con espera) del proceso x del PCT I/II
- $R_{I/II(e)MPac.fab.x}$ — Relación de la inversión por materia prima y la inversión de fabricación acumulada (con espera) del proceso x del PCT
- $R_{I/II(e)MPac.fab.t}$ — Relación de la inversión por materia prima y la inversión de la fabricación total (con espera) del proceso x del PCT I/II

- $R_{I/II(e)MPx}$ Relación de la inversión por materia prima del proceso x del PCT I y la inversión por materia prima del proceso x del PCT II (posible para cualquier combinación de los elementos materia prima (MP), cambio de herramienta (CH), proceso de valor añadido (VA) y espera (ES)).
- $R_{I/II(e)abs.x}$ Relación de la inversión absoluta (con espera) del proceso x del PCT I y de la inversión absoluta (con espera) del proceso x del PCT II
- $R_{I/II(e)ac.pro.x}$ Relación de la inversión acumulada (con espera) del proceso x del PCT I y de la inversión acumulada (con espera) del proceso x del PCT II
- $R_{I/II(e)ac.fab.x}$ Relación de la inversión de la fabricación (con espera) del proceso x del PCT I y de la inversión de la fabricación (con espera) del proceso x del PCT II
- $R_{I/II(e)ac.fab.t}$ Relación de la inversión de la fabricación total (con espera) del proceso x del PCT I y de la inversión de la fabricación total (con espera) del proceso x del PCT II

S

- SMED Cambio de herramienta en pocos minutos (ingles: Single Minute Exchange of Die)
- SPEED Concepto del evento de mejora continua (S: (Standardization/Estandardización), P: (Process optimizing/Optimización de procesos), E: (Eliminate waste/Eliminación de desperdicios), E: (Qualification of tool setter/Calificación del organizador de la máquina), D: (Permanent training /Formación permanente))
- STED Cambio de utillaje en las máquinas usadas en la fabricación por un contacto individual (inglés: Single -Touch Exchange of Die)

T

- Turno Turnos necesarios para la realización del proceso
- T_p [h] Tiempo del proceso en el VSM
- T_c [h] Tiempo del cambio de herramienta en el VSM
- t_{Icex} Tiempo en la curva del PCT I de un estado del proceso x
- t_{Iept} Tiempo total de la fabricación con espera del estado inicial
- t_{IIept} Tiempo total de la fabricación con espera del estado final
- t_{Ipt} Tiempo total de la fabricación sin espera del estado inicial
- t_{IIpt} Tiempo total de la fabricación sin espera del estado final
- t_{ICHt} Tiempo total del cambio de herramienta del estado inicial
- t_{IICHt} Tiempo total del cambio de herramienta del estado final
- t_{ICHx} Tiempo del proceso x del cambio de herramienta del estado inicial
- t_{IICHx} Tiempo del proceso x del cambio de herramienta del estado final
- t_{IVAt} Tiempo total del proceso de valor añadido del estado inicial
- t_{IIVAt} Tiempo total del proceso de valor añadido del estado final

- t_{IVAx} Tiempo del proceso x del proceso de valor añadido del estado inicial
- t_{IIVAx} Tiempo del proceso x del proceso de valor añadido del estado final
- t_{IESt} Tiempo total de la espera del estado inicial
- t_{IIESt} Tiempo total de la espera del estado final
- t_{IESx} Tiempo del proceso x de la espera del estado inicial
- t_{IIESx} Tiempo del proceso x de la espera del estado final
- $t_{YLLsim.}$ Tiempo total de la fabricación en el límite lean simple del PCT Y
- $t_{YLLava.}$ Tiempo total de la fabricación en el límite lean avanzado del PCT Y
- $t_{YLLmáx}$ Tiempo total de la fabricación en el límite lean máximo del PCT Y

V

- VSM Mapeo de flujo de valor (inglés: value stream map, VSM)

Capítulo 1

Introducción

1. Introducción

En este capítulo se explican brevemente los antecedentes y la motivación del trabajo. Después se elaboran los objetivos del trabajo.

1.1. Antecedentes y motivación

La globalización está formando cada día mercados más abiertos, por lo que la mejora de la productividad en el proceso de fabricación industrial de un bien en países de costes elevados, como Alemania o España, es fundamental para la supervivencia de una empresa. El sector industrial con exportación que tiene fabricación en Alemania depende de una alta productividad de sus procesos. Como se puede ver en la tabla 2.1., los costes de personal en Alemania son unos de los más elevados del mundo (FTD 2010). A estos números hay que añadir que en Alemania se trabaja de promedio unas 1500 horas al año, comparado con los aproximadamente 2300 en Asia (Abele, 2008).

País	Coste total por una hora trabajada
Europa – de alto coste (Alemania)	**36,05 euros/hora**
América – de coste elevado (EEUU)	**22,95 euros/hora**
Asia – de coste medio (China)	**2,25 euros/hora**
Asia – de coste bajo (Las Filipinas)	**1,33 euros/hora**

Tabla 1.1. Comparación de los costes laborales

Debido a este inconveniente de la fabricación, en países como Alemania es importante conseguir la optimización constante de todos los procesos. Para incrementar la competividad deben aplicar los conceptos adecuados para mejorar constantemente la eficiencia y la efectividad, lo que nos lleva a un nivel de mayor productividad.

Kaizen ha sido desde sus inicios una filosofía poderosa que ha mejorado drásticamente los procesos operativos y los resultados de varias empresas. Según la metodología de Kaizen, la productividad se incrementa, cuantos menos recursos se requieran para realizar un bien. Según Kaizen solo se deben realizar procesos en una fabricación que estén valorados y pagados por el cliente. El ahorro de dichos recursos equivale a la eliminación de desperdicios para los cuales un posible cliente no está dispuesto pagar. La metodología de Kaizen es una de las posibilidades para la mejora de la productividad (Liker, J., 2007).

Es importante mencionar que hace falte un sistema de gestión adecuado para la introducción de la metodología de Kaizen en una fabricación. Este sistema debería permitir la introducción en cualquier tipo de fabricación en una planta industrial. A lo largo de los años se ha establecido el evento de mejora continua como la manera adecuada de introducir la filosofía (Ohno, T., 1997). Mediante el uso de las técnicas, los conceptos, las herramientas y los métodos del Kaizen se pueden

encontrar y eliminar desperdicios en una fabricación, aunque todavía resulte difícil visualizar la mejora de un proceso durante un evento de mejora continua de manera objetiva, comparable, rápida y fácil de aplicar y entender.

1.2. Definición del problema

La evaluación del nivel de la eliminación de los desperdicios, o también del nivel de Kaizen alcanzado, ha sido desde hace mucho tiempo objeto de varios trabajos de investigación (Ortiz, C., 2006). Tradicionalmente se ha medido el incremento de la productividad mediante la relación entre los recursos utilizados y el resultado obtenido. En cuanto se mejora el resultado utilizando los mismos recursos o se han podido reducir los recursos utilizados manteniendo el resultado, se habla de una mejora de productividad (Marín-García, J. A., 2009). Este trabajo supone que un proceso es más productivo cuando se utilizan menos recursos para la fabricación de un bien de la misma calidad.

La determinación clásica del coste de fabricación es la herramienta para fijar todos los costes de un producto y los precios de venta, que incluyen todos los costes y un porcentaje para beneficios (Wirtschaftslexikon24, 2011). Dado que en la mayor parte de estos sistemas solo se pueden asignar los costes de los procesos resultantes en el pasado, no ayudan a prever cambios en el sistema de fabricación.

Por otro lado, la determinación clásica del coste de fabricación se limita a sumar todos los costes relacionados al producto, por lo que no se pueden analizar cambios en el tiempo de fabricación.

El mapeo de flujo*) de valor como se conoce hoy en día, ayuda a descubrir la importancia de los costes y del tiempo durante la fabricación. El mapeo del flujo de valor es un método de análisis antiguo que demuestra todos los tiempos de una fabricación. Existe la posibilidad de ampliar el método desde un proceso singular hasta una línea de fabricación entera, demostrando no solo el proceso productivo sino también cualquier tiempo añadido (Womack, J.P., 1997). El mayor inconveniente de este método es la incapacidad de demostrar el cambio de otros recursos utilizados, sobre todo de los costes de los procesos. No es un método completo para la comparación, el análisis y la evaluación de cambios durante un evento de mejora continua. Para las diferentes personas relacionadas con una fabricación industrial es importante conocer el impacto de los cambios de un proceso o de una fabricación entera debido a los cambios durante un evento de mejora continua. Además necesitan saber si se puede llegar a una situación sostenible (respecto al uso de coste y tiempo) para la fabricación usando los procesos y las técnicas de fabricación actuales.

La mayor parte de la economía alemana se basa en empresas pequeñas y medianas (PYMES) (FAZ, 2011). Dado que hoy en día no existe un método adecuado para los posibles usuarios de las PYMES para comparar, analizar y evaluar cambios posibles o realizados dentro del área de fabricación industrial, este trabajo pretende encontrar un método simple de aplicación para medir no solo el tiempo reducido sino también los costes mejorados. Además debería permitir la selección correcta de las posibilidades de Kaizen para llegar al límite lean de la fabricación industrial de un bien.

***)** se ha preferido el empleo de la palabra "mapeo" existente en español pero de uso más restringido que mantener la inglesa de "mapping" y que además su uso se está generalizando recientemente en los campos de la gestión de empresas, de los sistemas productivos, de la informatica, etc.

1.3. Los objetivos del trabajo

Este trabajo se centra en la medición, el análisis y la evaluación de la productividad en uno o varios procesos de fabricación industrial. Las personas relacionadas con la fabricación industrial precisan de un método con esta característica. Los usuarios del método se definen con más detalle en el capítulo 5.1.1.

El primer objetivo de los tres de los que consta el trabajo es la elaboración de un método que permita un análisis y una evaluación fáciles, rápidos y eficaces de un proceso único o de una fabricación industrial entera respecto a la mejora de productividad lograda durante un evento de mejora continua. Para que el uso del método sea fácil y rápido, es imprescindible que los datos necesarios sean de fácil acceso. A base de diferentes elementos descriptivos de un proceso dentro del método final, se pretende establecer un método visual para la comparación de diferentes estados de procesos. Es necesario definir los elementos básicos de la visualización para definir las posibilidades de mejora. Además se deben establecer valores de referencia y proponer diferentes métodos y herramientas del Kaizen para dicha mejora.

El segundo objetivo del trabajo es la introducción de un nuevo índice que permita evaluar mejoras no solo respecto al coste sino también respecto al tiempo. Este índice debe permitir la evaluación de un proceso o de una línea de fabricación de una forma más comparable dentro y fuera de un determinado sector industrial. En base a este índice deben elaborar diferentes valores de referencia para la evaluación de un estado actual o final.

Como último objetivo de este trabajo se define, en base a los valores de referencia además un posible límite de fabricación lean. Este límite se basa en la tecnología y la manera de fabricación actualmente utilizadas. Además demuestra el potencial teórico para mejorar un proceso o una fabricación completa como base de evaluación del resultado de un evento de mejora continua.

Se pretende elaborar en este trabajo un método que ayude no solo al personal relacionado con la fabricación a demostrar la mejora de uno o varios procesos sino también del efecto de cambios en toda la fabricación. Además se pretende encontrar un método para ayudar a identificar más fácilmente posibles mejoras para el futuro.

Capítulo 2

La mejora continua en la productividad industrial

2. La mejora continua en la productividad industrial

Después de una breve descripción de la historia de la mejora continua se definen los diferentes conceptos, técnicas, herramientas y métodos de la mejora continua.

2.1. Historia de la mejora continua

Para describir la historia de la mejora continua (que es la historia del Kaizen) hay que centrarse, sobre todo, en el sistema de fabricación de Toyota (Toyota Production System, TPS). La base de este sistema es la mejora continua. Dentz (Dentz, J., 2009) menciona los textos de Elgar y Smith (1994), Senge (1990) y Utterback (1995) para afirmar que el Kaizen está considerado como el elemento clave del sistema de gestión japonés y presenta el principio escondido de la "fabricación lean".

El Kaizen se ve en este trabajo como un paso importante en la historia del desarrollo del sistema de mercado y empresa. Con el tiempo cambió el enfoque del trabajo hacia el trabajador y el cliente. De esta manera, las empresas cambiaron de un sistema de fabricación que se centra sobre todo en la simplificación y especialización a una fabricación optimizada para el cliente y los trabajadores (Burch, M.K., 2008). En la figura 2.1 se ve la evolución en un gráfico.

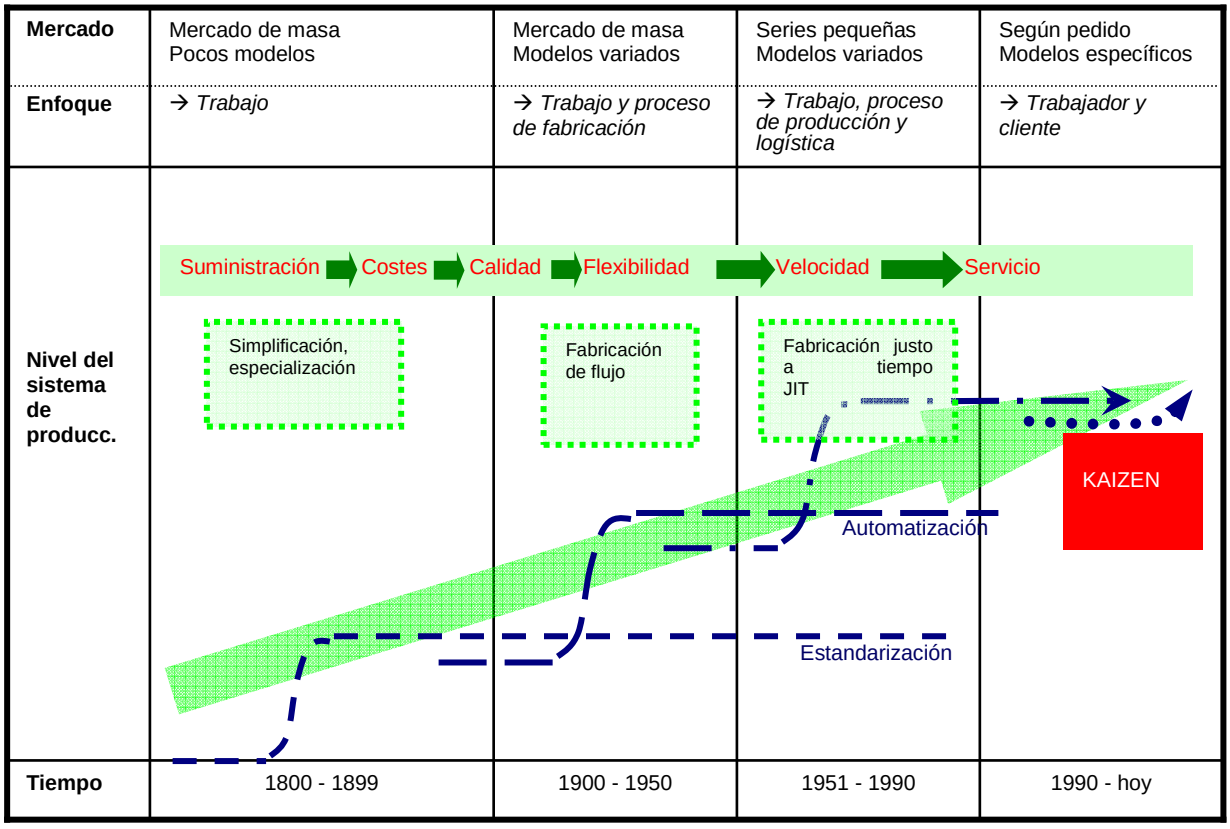


Figura 2.1. Evolución de la relación de mercado y empresa

Para este trabajo es muy importante que hoy en día el cliente defina cuándo, cómo y por qué coste quiere su bien.

Este trabajo se limita a esta introducción previa en la historia.

2.2. Descripción de la mejora continua

Para entender por qué se ha desarrollado el concepto de la mejora continua se debe definir primero el valor de un producto.

2.2.1. El valor de un bien para un cliente

El valor de cualquier bien viene definido por el usuario y/o su cliente. Cuando el cliente está dispuesto a pagar por algo, ese producto o servicio tiene un valor. Ese valor es importante, porque justifica un precio para un producto que no sólo debería cubrir los costes sino también permitir un margen. Cuanto mejor conozcamos los valores del cliente y a más bajo coste los realicemos, más competitivos y rentables seremos. Todo aquello por lo que el cliente no está dispuesto a pagar, no añade valor alguno (Barraza, M.F., 2009). A continuación deseo demostrarlo con un pequeño ejemplo.

Si suponemos un bien industrial que aumenta su valor cuando tiene un agujero en una determinada posición, el bien aumenta su valor al tener ese agujero. Cuando se conocen también los requisitos del cliente respecto a la calidad de dicho agujero, se conocen los requisitos mínimos y máximos dentro del valor añadido. Si suponemos un proceso de taladrado, el proceso de valor añadido es el momento del taladrado en sí. Los movimientos y las preparaciones hasta el taladrado, la recogida de la pieza de una caja, la sujeción de la pieza en la taladradora y los otros subprocesos no añaden valor. Cuando hablamos en el capítulo 5.2.3.3. del elemento del proceso de valor añadido, dichos subprocesos forman parte del tiempo. En el ejemplo anterior, si se pudiera eliminar todo el proceso de taladrado por un proceso de fabricación más barato, ya sea forjando o cortando la pieza principal, que estableciese un agujero en la calidad requerida, el valor del cliente seguiría siendo el mismo, mientras que el beneficio del fabricante aumentaría.

2.2.2. Definición del Kaizen

Kaizen es una palabra japonesa que significa mejora continua. En la figura 2.2. se encuentra la palabra en letra japonesa (KPC, 2008).

Figura 2.2. KAIZEN en letra japonesa

Según KPC (KPC, 2008), el Kaizen presenta un programa global para la mejora de cualquier proceso productivo mediante diferentes técnicas, herramientas y métodos.

Hoy en día el Kaizen consiste de varios conceptos, técnicas, herramientas y métodos. Para poder ilustrar mejor la idea del Kaizen, se suele utilizar el modelo de la casa Kaizen de la figura 2.3. (Grupo Galgano 2005). Esta casa (también llamada templo de Kaizen) consiste de una base, unos pilares y una estructura de techo. En el gráfico siguiente se puede ver un esquema de este modelo del Grupo Galgano. Dado que el Kaizen se ha desarrollado durante varios años, hoy en día existen diferentes definiciones y descripciones de conceptos, herramientas, modelos y métodos que se encuentran debajo del techo de la casa de Kaizen. Todas estas

definiciones y descripciones comparten el fin de la mejora de la productividad así como la filosofía del Kaizen.

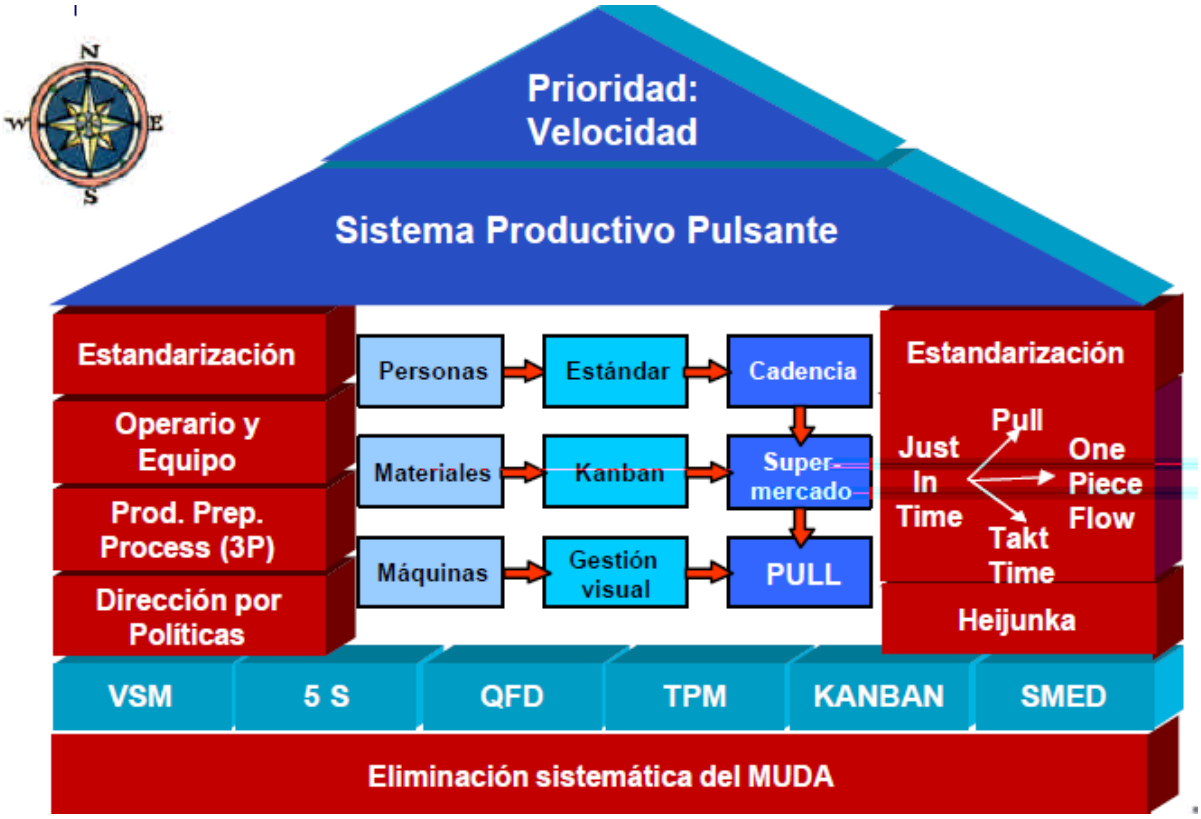


Figura 2.3. La casa de Kaizen

Varios años de estudio e investigación en empresas en todo el mundo han concluido lo siguiente (Womack, 1992):

- Se puede doblar la productividad en todo el sistema.
- Se puede reducir el plazo de entrega y el inventario en un 90%.
- Se puede reducir a la mitad el “time to market” de nuevos productos.
- Se puede ofrecer una gran variedad de productos a un coste reducido.
- Se pueden reducir a la mitad los errores y los desechos en los procesos.

Cualquier análisis sobre la mejora continua se hace más difícil, dado que en muchos conceptos no se usa el nombre Kaizen, aunque se describe parte de su desarrollo. El texto de “La ideología de la fabricación” (Tsutsui, 2001) no habla directamente de “Kaizen”. Por un lado, existe una omnipresencia de la palabra Kaizen en la literatura y, por otro lado, no aparece en textos que forman parte de su desarrollo. Dado que se trata de una filosofía abierta, permite añadir conceptos, técnicas, métodos y herramientas adicionales.

Según Liker (Liker, J.U., 2007), hay una semejanza entre el Kaizen, los estudios pasados de las relaciones industriales de Elton Mayo (1959) y la teoría de las relaciones humanas de Maslow (1970) en tres puntos:

- Kaizen es un concepto sin fin - siempre se puede mejorar el proceso, nunca se encuentra un estado que no se puede mejorar.
- La naturaleza incremental.
- Hay que participar – sin la participación de los individuos involucrados en el proceso no se llega a lo máximo.

La generalidad y la simplicidad del Kaizen son, a la vez, su punto fuerte y su punto débil. El LMI (LMI 2008) describe la cultura de las empresas japonesas que aplican la mejora continua. En esta cultura, los empleados y trabajadores de dichas empresas están completamente inmersos en el concepto y desarrollan cambios en su base sin darse cuenta qué concepto están aplicando. En contraste a esa aplicación, existen empresas en las que se entienden algunas herramientas de la mejora continua como el concepto en sí. Cuando la mejora continua es una práctica estrictamente definida por muchos textos y autoridades, su aplicación suele tener menos eficacia (KPC, 2008).

Mientras varios métodos forman parte de la mejora continua (véanse los más relevantes en el capítulo 2.2.6.3.), hay que distinguir entre el Kaizen como filosofía general y el sistema de sugerencias y el concepto de defecto cero. En un artículo de Doolen (Doolen, T.L., 2007) se describe la diferencia entre dichos conceptos. Para entender mejor las diferencias, el autor desarrolló el gráfico de la figura 2.4. de dos ejes donde el eje vertical representa el grado de la institucionalización (su organización y sistematización) y el eje horizontal el grado de la influencia y especificación por parte de la gerencia.

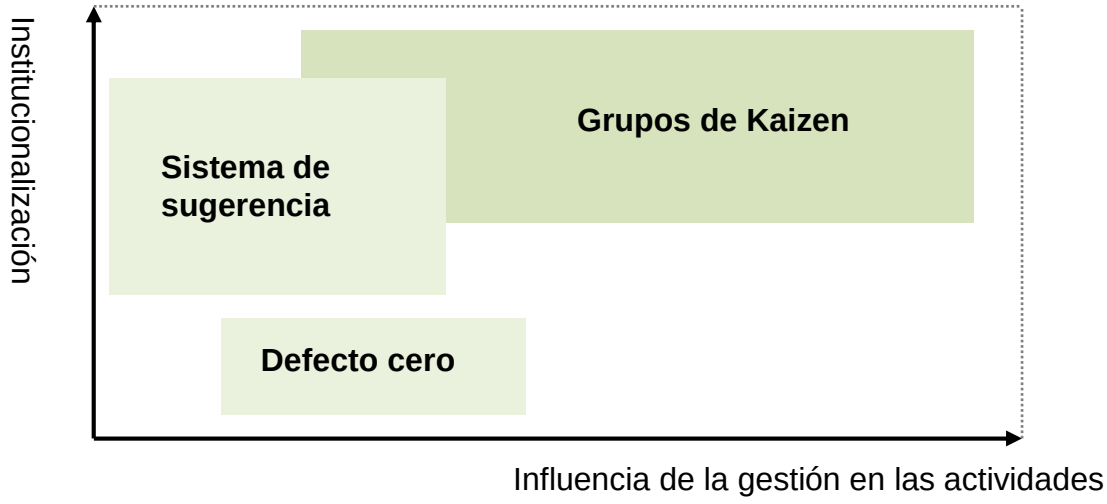


Figura 2.4. Actividades de Kaizen

Como se puede observar en el gráfico anterior, los grupos que forman el núcleo de cualquier actividad Kaizen requieren una institucionalización relativamente elevada en comparación con las actividades de defecto cero, donde los empleados realizan mejoras espontánea y autónomamente. Cualquier sistema de sugerencia requiere también un alto grado de institucionalización. Este hecho es importante, dado que este trabajo se centra en la comparación de los resultados de un evento de mejora continua. El evento de mejora continua, descrito en un apartado más adelante (capítulo 2.2.6.), forma parte de la institucionalización del Kaizen, ya que es su concepto central.

Ohno (Ohno, T., 1997) manifiesta que los dos puntos más importantes del sistema de fabricación de Toyota son la fabricación a tiempo (Just in time, JIT) y el incremento de la autonomía. Ambos son los dos pilares importantes para la reducción de los desperdicios. La fabricación a tiempo requiere un sistema que "demanda". Cuando un sistema de fabricación "demanda", es el último puesto de trabajo de la fabricación que marca el ritmo y demanda la frecuencia de suministro de los anteriores. El resultado de esa forma de trabajar es que se mueven los bienes dentro de la empresa sólo, cuando el último puesto de trabajo (el que está en directa relación con el pedido del cliente) lo requiere. La autonomía se refiere sobre todo a la autonomía del trabajador, que permite reducir los fallos de la divergencia respecto a la calidad del producto. Mediante la fabricación a tiempo en autonomía se pretende eliminar cualquier desperdicio. Para descubrir todos los desperdicios, Ohno ha desarrollado el método de las cinco preguntas "¿por qué?". En cuanto se pregunta cinco veces por qué una cosa es así, se llega a la verdadera razón de por qué la cosa es así. En general se trata de reinventar los conceptos existentes.

Según la filosofía de Ohno, hay siete tipos diferentes de desperdicios (Ohno, 1997).

- El desperdicio del exceso de fabricación – En cuanto no se producen exactamente los productos demandados por los clientes, se produce desperdicio.
- El desperdicio del tiempo – En cuanto un bien espera sin modificaciones, se ha invertido en un bien demasiado pronto, lo que significa un coste innecesario.
- El desperdicio del transporte – El cliente no paga los transportes para la fabricación del bien
- El desperdicio de los procesos – Sólo los procesos necesarios están pagados por el cliente.
- El desperdicio del inventario – Dado que el inventario no crea valor inmediatamente, se trata de un desperdicio.
- El desperdicio del movimiento – Cualquier movimiento del bien, de la maquinaria o del propio trabajador no añade valor, por lo cual se trata de un desperdicio.
- El desperdicio del defecto – Es uno de los desperdicios mas grandes dado que al tener un defecto se pierde el valor acumulado hasta que el defecto está solucionado.

En el concepto de Kaizen es importante que se realicen los cambios rápidamente. El concepto prefiere cambiar de golpe un 40% que un 80% en varios años. En la cultura japonesa está implantado el concepto Kaizen, de manera que ningún día debe pasar sin una cierta mejora. Se ve el tiempo como el mejor indicador aislado de competitividad. En base al conocimiento, se actúa en un grado óptimo al reconocer y eliminar desperdicios de cualquier tipo en la empresa. Eso quiere decir que se buscan los desperdicios en procesos productivos (existentes o en fase de proyecto), en productos nuevos, en el mantenimiento de máquinas o incluso en procedimientos administrativos (Bowen, 1999).

Como descrito anteriormente, Kaizen es la expresión japonesa para " mejora continua " o "mejoramiento". Se refiere a una mejora continua e incremental, que incluye todo el personal de una empresa. A diferencia de la innovación, Kaizen se centra en la mejora de un producto o proceso pequeño, pero constante. En un

proceso de innovación se pretende una única mejora grande. En la figura 2.5. se puede observar un proceso de innovación con el tiempo. (Tubino, D.F., 1999).

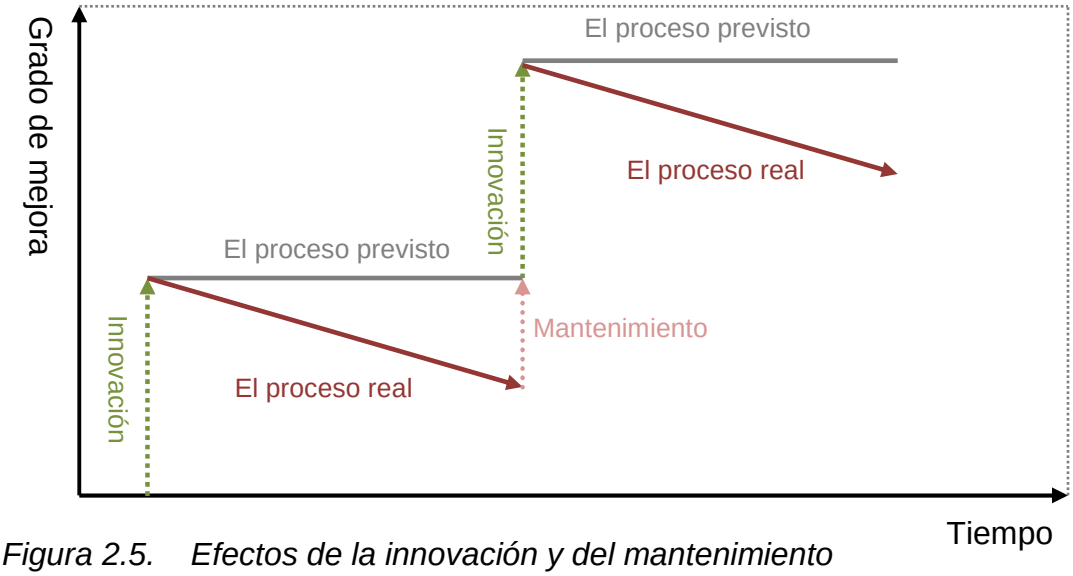


Figura 2.5. Efectos de la innovación y del mantenimiento

En el gráfico anterior de Tubino se puede observar que una innovación puede tener el efecto de una mejora "de golpe". Una vez introducida la innovación, se suele observar que la aplicación real lleva a un proceso que empeora el efecto de la innovación. Mediante la aplicación de un mantenimiento es posible recuperar el nivel inicial de la innovación (Tubino, D.F. 1999).

Ahora combinamos una innovación con la aplicación de Kaizen y recibimos el gráfico siguiente (Imai, 1992).

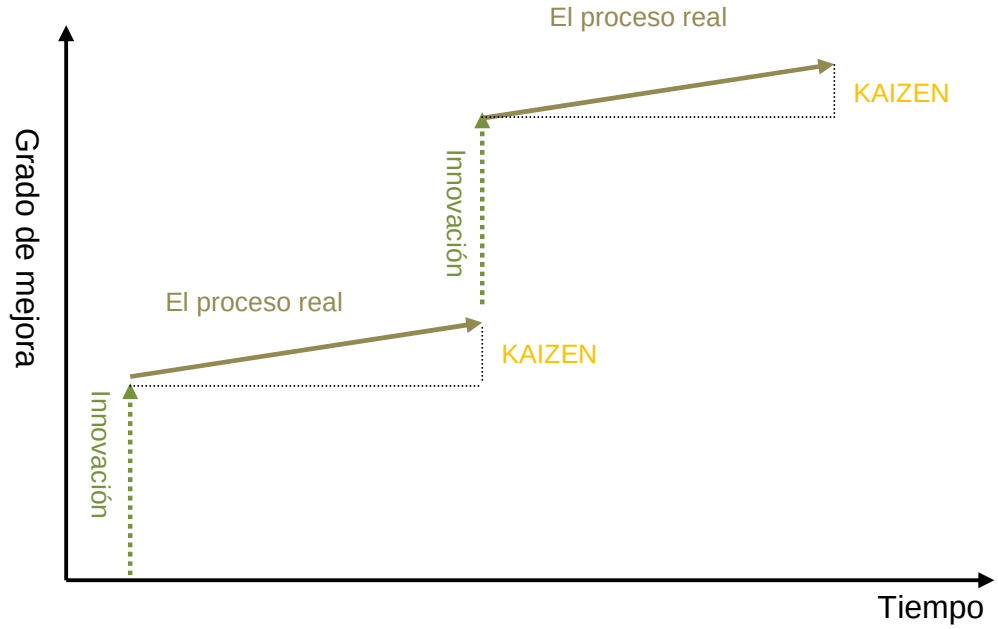


Figura 2.6. Efecto de la innovación y el Kaizen

La figura 2.6. demuestra que no sólo se mantiene el efecto de la innovación, sino que se puede incrementar el nivel. Debido al Kaizen el resultado de cualquier innovación no sólo es más sostenible sino que, al final, el nivel alcanzado es mucho más elevado, dado que la base para una segunda innovación es mayor también

(Imai, M., 1992). Hay una diferencia entre la innovación y un proceso Kaizen. El Kaizen puede soportar una innovación, por lo que siempre hay que combinar una innovación con un proceso Kaizen para obtener el mejor resultado posible. Para el desarrollo del método es importante que haya esa diferencia entre la innovación y la mejora continua mediante el Kaizen. En el desarrollo de los límites, es imprescindible conocer tal diferencia.

Como se ha descrito en el apartado anterior, uno de los desperdicios más grandes, según la mejora continua, es el cambio de herramienta. Puesto que el cambio de herramienta representa, también en este trabajo, uno de los elementos importantes de un proceso, su significado se desarrolla en el capítulo siguiente.

2.2.3. La importancia del tiempo de cambio de la herramienta

El cambio de la herramienta suele ser necesario para producir diferentes bienes en un mismo puesto de trabajo o con la misma máquina. El puesto de trabajo, como punto de referencia para este trabajo, puede ser de cualquier tipo. Se puede tratar de una mesa para el empleado o de una máquina compleja. En algunos casos se utilizan máquinas altamente automatizadas que realizan el cambio totalmente automático. Cuando el cambio de un producto a otro requiere mayores cambios de herramientas o en el caso de que la máquina no esta automatizada, se requiere la ayuda del operador. Para el éxito de una empresa es importante que ésta disponga de una línea de fabricación flexible. La flexibilidad de una línea de fabricación depende en gran parte de la duración del ciclo de fabricación. Las duraciones de fabricación largas conllevan almacenes grandes porque se requieren grandes lotes de productos para la fabricación “efectiva a bajo coste”. Lo anteriormente dicho está incluido en los desperdicios de Ohno (Ohno, 1997). Al reducir el tiempo de cambio de la herramienta en una fabricación, se puede reducir el tamaño de los lotes de producto, por lo que se reduce el desperdicio. La cadena de causa y efecto se puede ver en el gráfico de la figura 2.7. (KPC, 2008).

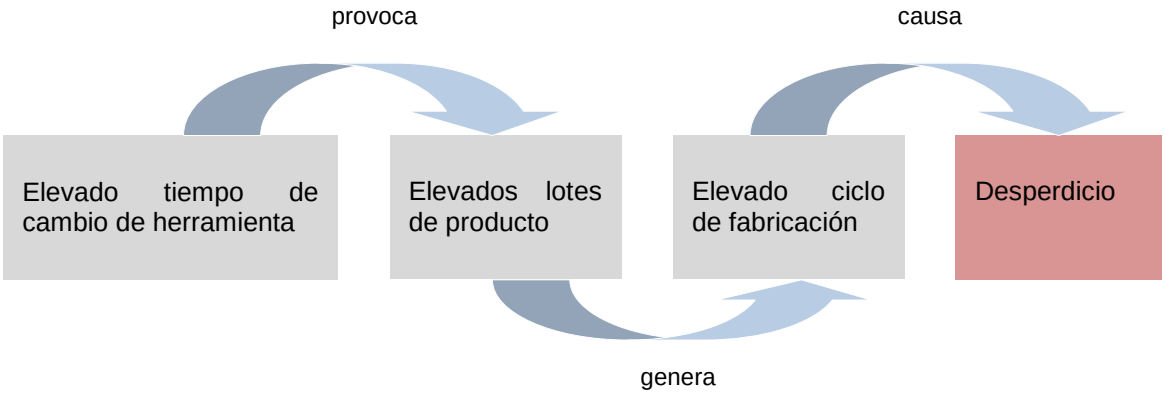


Figura 2.7. El tiempo de cambio de herramienta como desperdicio

El tiempo del cambio de la herramienta se define como “el tiempo perdido” entre la fabricación de dos productos A y B. Se entiende por cambio de utillaje el tiempo transcurrido desde la fabricación de la última pieza A aceptada de una serie hasta la obtención de la primera pieza aceptada de la serie B siguiente. Aceptada significa no sólo que la calidad del producto está bien. Se refiere también a un producto que satisface en sus calidades y que, además, está producido en el número adecuado (Hawkins, B., 2005).

En la figura 2.8. se puede observar que se incluyen no únicamente el tiempo del cambio de la herramienta sino también los ajustes físicos del puesto de trabajo (Hawkins, B.2005).

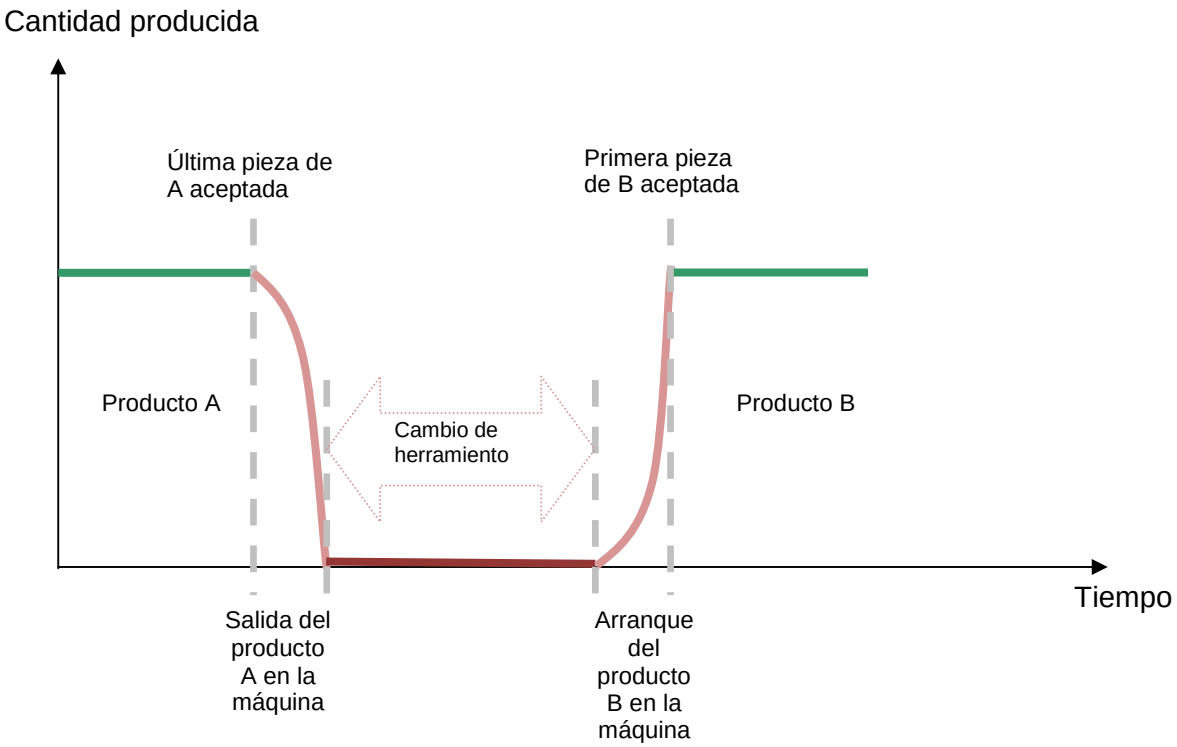


Figura 2.8. El ciclo del cambio de herramienta

Un cambio de herramienta puede depender de varias variables diferentes. Tomamos el proceso del cambio de una estampa en una forja como ejemplo. En este caso el resultado en forma del producto depende del peso, de la altura, de la caída de la herramienta, del paralelismo de la máquina, del sistema de igualación de peso, de la presión de gas, de la velocidad del proceso y de factores fuera de la prensa (como material, dureza, etc.) (Hammet, P.C., 2003). Por lo tanto se trata de un proceso complejo. En este caso, como en cualquier otro tipo de cambio de herramienta, se puede distinguir entre dos tipos diferentes.

El tiempo de cambio de la herramienta se divide en dos clases (Gross, 2002). Primero está el cambio interno. El cambio interno describe todas las actividades que se realizan para cambiar de un producto a otro sin que se produzca nada en este tiempo. Por otro lado está el cambio externo que se realiza cuando se produce todavía un producto A o ya un producto B. Este cambio externo equivale a la preparación externa para un cambio. En la figura 2.9. se encuentra un esquema de los dos tipos que demuestra, además, el impacto de cada uno sobre el tiempo de fabricación total (KPC, 2008).

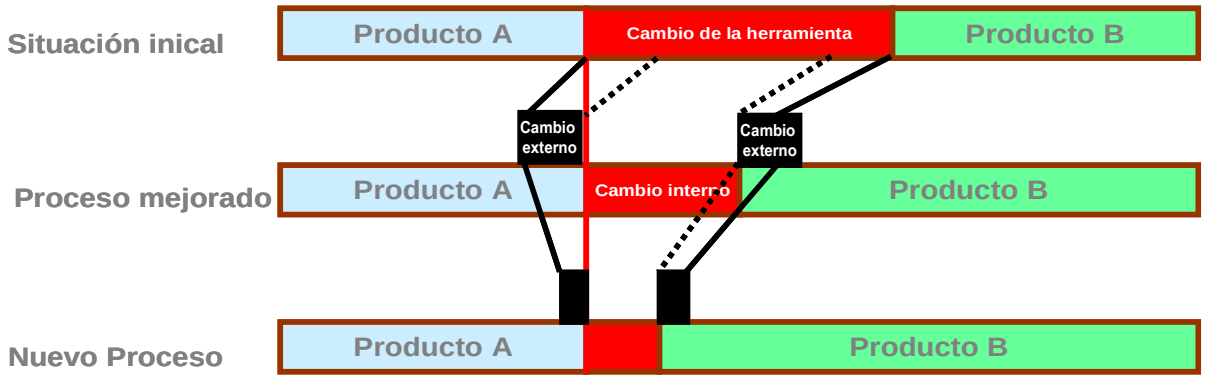


Figura 2.9. El cambio de la herramienta (interno – externo)

El cambio externo no tiene casi ninguna influencia sobre la productividad, mientras que el cambio interno es un tiempo improductivo (baja la productividad). Por esta razón es preferible el cambio externo. La tarea consiste en disminuir el tiempo del cambio de herramienta en total y, sobre todo, el tiempo del cambio interno.

En cuanto se acorta el tiempo de cambio de herramienta, se mejora la productividad. Esta mejora de productividad se puede utilizar de dos maneras en una empresa: o se obtiene más flexibilidad para reaccionar a los deseos de los clientes (sin coste extra) o se produce una cantidad mayor de piezas/productos, dado que la pérdida de fabricación durante el cambio de herramienta se reduce. Cualquier opción de estas dos representa una ventaja sobre la competencia al poder satisfacer las necesidades del cliente (Porsche Consulting, 2009).

El tiempo del cambio de la herramienta tiene una influencia muy importante sobre el éxito del sistema la mejora continua, se trata de una parte fundamental del sistema. El análisis del tiempo se realiza normalmente durante un evento de mejora continua. Este concepto se define con más detalle en el capítulo siguiente.

2.2.4. Los principios claves

A continuación se representan los cuatro principios más importantes del Kaizen. Estos principios están extraídos de Jeffrey U. Liker (Liker, 2007).

- Orientación hacia el proceso: En la mejora continua se pretende cambiar el hecho de centrarse sólo en el resultado de una empresa por el de centrarse más bien en el proceso. La orientación hacia el proceso requiere también una documentación amplia. La documentación forma parte de la institucionalización (véase apartado anterior). Como resultado de lo anteriormente dicho, la estandarización es fundamental para la mejora continua.
- Relación entre suministrador y cliente: La mejora continua hace una diferenciación entre clientes internos y externos. El cliente externo es un consumidor final, el cliente interno es una “filial” de la propia empresa. Cuando se fabrica en el puesto de trabajo A una pieza que se necesita para la fabricación de un producto u otra pieza para el puesto B, se habla de un cliente interno B.
- Calidad controlada: El control y la mejora de la calidad es una parte fundamental de la la mejora continua. El sistema de la calidad total forma parte de la mejora continua. El sistema de calidad en todo el proceso que

fue establecido por Toyota daba ejemplo durante varios años a todo el sector automovilístico. La mayor diferencia de este sistema de calidad es que se centra más en la calidad realizada y menos en su control (el modelo de las normas ISO 9000). En base a esta filosofía se deben establecer procesos que no permitan errores.

- Mejora continua y establecimiento de estándares: El proceso de mejoramiento es una clave de la mejora continua. Cualquier idea para mejorar un proceso se toma muy en serio. Para la realización de dichas ideas se utiliza el ciclo PDCA.

  - P: Plan: Planificación (generar ideas, planificar mejoras, definición de objetivos)
  - D: Do: Realización (realización de los cambios,)
  - C: Check: Controlar (medir, controlar las medidas y los resultados)
  - A: Action: Acción (introducción de los cambios a gran escala, estandarización)

El ciclo PDCA se llama también DMAIC (definición, medición, análisis, mejora (inglés: improve) y control) (Carstens, 2009). De esta manera se asegura que todos los procesos en una empresa estén revisados y cuestionados.

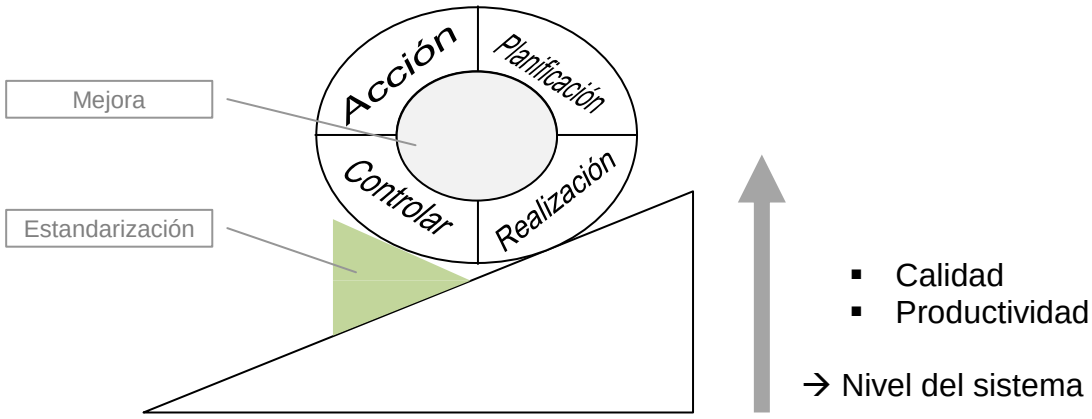


Figura 2.10. La estandarización y el ciclo PDCA

Antes de entrar en la definición detallada para las técnicas, las herramientas y los métodos de la mejora continua hay que definir sus relaciones. Para el desarrollo de este método y, sobre todo, para posibles recomendaciones es importante conocer las diferencias y sus efectos. En el gráfico de la figura 2.11. de la página siguiente se encuentra una visión global de todos los diferentes términos y sus representantes más importantes. En los capítulos siguientes se describen sobre todo los conceptos, las técnicas, las herramientas y los métodos de análisis necesarios para este trabajo.

INTRODUCCIÓN

- Fase de organización
- Fase de estandarización
- Fase de realización

FILOSOFÍA DEL KAIZEN

- Orientación hacia el proceso
- Relación entre suministradores y clientes
- Calidad controlada
- Mejora continua

TÉCNICAS DEL KAIZEN

2.2.5. Las técnicas

Este apartado se centra en las técnicas de Kaizen en la fabricación. Dado que la mejora continua es un concepto aplicable en todos los procesos y departamentos de una empresa, se han desarrollado varias técnicas para los diferentes procesos (Ohno, 1997). Las técnicas de la mejora continua, también llamadas sistemas del cambio (Galgano, 2005), son las técnicas que hay que establecer en una fabricación para evitar desperdicios. Se pueden establecer eventos de Kaizen (éstos se pueden organizar según varios conceptos) al usar métodos y herramientas. Se puede decir que las técnicas son lo que se ve en una fabricación, son el resultado del evento de mejora continua.

A la hora de aplicar la estrategia de la mejora continua es fundamental el uso de técnicas dirigidas a mejorar los índices de satisfacción y de productividad. En la lista siguiente se enumeran las más importantes (AEC, 2009):

- Sistema de sugerencias: métodos para recoger y canalizar las ideas que aportan los trabajadores (AEC, 2009; véase también capítulo 2.2.2.).
- Justo a tiempo (JIT – Just in Time): sistema de gestión empresarial orientada hacia la entrega del producto al cliente en los plazos exactos para eliminar los stocks de mercancías (AEC, 2009).
- Sistemas de fabricación en células (CMS- celular manufacturing systems): Se ponen las máquinas en grupos para producir ciertas familias de productos. El objetivo es incrementar al máximo la independencia de la célula. Se pretende reducir el material en los procesos, los tiempos de transporte y espera y mejorar el control. Además, se reducen no sólo el tiempo de cambio de herramienta y el coste del manejo de material, sino también se mejora la calidad del producto (Pattanaik, 2008).
- Kanban / sistema de fabricación desde el cliente / sistema pull: Kanban significa en japonés: ‘etiqueta de instrucción’. Su principal función es ser una orden de trabajo, es decir, un dispositivo de dirección automático que nos da información acerca de qué se va ha producir, en qué cantidad, mediante qué medios y cómo transportarlo. Junto con el sistema de fabricación desde el punto de vista del cliente, se produce y se almacena sólo lo que el cliente demanda (Bayou y de Korvin, 2008).
- Mantenimiento preventivo: Las ventajas de la aplicación del mantenimiento preventivo en máquinas-herramienta son considerables, el número de horas de paro se reducen en un 95% y las horas de reparación no planificadas en un 65% durante un periodo de instalación inferior a 4 años (Gestiopolis, 2009).
- Gestión de la calidad total: El objetivo perseguido por la gestión de calidad total es lograr un proceso de mejora continua de la calidad mediante un mejor conocimiento y control de todo el sistema (diseño del producto o servicio, proveedores, materiales, distribución, información, etc.), de forma que el producto recibido por los consumidores esté constantemente en correctas condiciones para su uso (cero defectos de calidad), además de mejorar todos los procesos internos de tal forma que se produzcan bienes sin defectos a la primera, implicando la eliminación de desperdicios para reducir los costes, mejorar todos los procesos y procedimientos internos, la atención al cliente y proveedores, los tiempos de entrega y los servicios post-venta (Tuobra, 2009).

- Procesos para el redesarrollo de productos y servicios: se requiere la implantación de procesos definidos para un rediseño de los procesos y servicios de tal forma que estos se adapten mejor a los medios de fabricación de la planta. Se pretende mejorar la calidad y disminuir tanto los fallos como los costes de fabricación de dichos procesos y productos (Bayou, M.E., 2008).
- Juego de pruebas (Benchmarking) competitivo: El juego de pruebas es un análisis permanente de comparación de los propios productos (o servicios), procesos y métodos con los mejores competidores (Sigmund, O., 2006).
- Programas para la mejora de calidad y seguridad: diferentes programas de la organización para mejorar la seguridad y la calidad en la fabricación (Bayou, M.E., 2008).
- Nivelado de carga (japonés Heijunka): Heijunka permite alinear la carga de las líneas mezclando el orden de fabricación de los productos, lo cual facilita la estabilidad y la normalización del trabajo. El segundo objetivo de Heijunka es ensamblar modelos diferentes en la misma línea eliminando al mismo tiempo los desperdicios (japonés: mudas) gracias a la normalización del trabajo. La aplicación de Heijunka permitirá producir en el orden de la demanda del cliente. La práctica de Heijunka reparte y equilibra la fabricación en los medios disponibles, en lugar de someter los medios dedicados a las variaciones de la demanda. Es importante que para la nivelación de la fabricación se trabaje a un ritmo fijo que permita optimizar todos los recursos de la fabricación (Vision Lean, 2009).
- Gestión visual (Andon): La gestión visual es un sistema utilizado para alertar de problemas en un proceso de fabricación. Da al operario o a la máquina automatizada la capacidad de detener la fabricación en el caso de detección de un defecto y de continuarla cuando se soluciona (Wikipedia, 2009).
- Simplificación de la planificación: Mediante un sistema informático y visual se simplifican la planificación y el control de la fabricación de tal manera, que siempre se puede ver fácilmente el estado actual de la fabricación (KPC, 2008).

Las técnicas descritas ayudan a establecer una fabricación lean según la mejora continua. Para el cambio de la cultura y la implantación de las técnicas anteriormente descritas se puede utilizar el evento de mejora continua (Ohno, 1997). En el capítulo siguiente se describe en detalle el evento de mejora continua.

2.2.6. El evento de mejora continua

Para la implementación del sistema de la mejora continua en una empresa se requiere un trabajo básico. Es fundamental que se implemente la mejora continua con la ayuda y el soporte de todos los empleados de una empresa. El “that’s the way we’re doing things out here” (esa es la manera en que se realizan las cosas aquí) es una fórmula de éxito logrado hasta hoy. Por otro lado, lo más importante es el cambio o la adaptación de la cultura de una empresa para poder introducir un proceso de mejora continua exitoso (Bessant, J., 2009). John Bessant añade que los conocimientos de la mejora deben incluir tanto la participación activa como los objetivos estratégicos adaptados a las actividades de la mejora continua. El Grupo

Galgano explica, además, que un cambio de cultura se puede realizar sólo por medio de la organización al realizar un evento de mejora continua (Grupo Galgano, 2005).

Durante un evento de mejora continua se enfoca la mejora alrededor del puesto de trabajo. El moderador no tiene que tener más conocimiento que los otros participantes. Muchas veces se trata de un intercambio de experiencias para solucionar un problema común. En los eventos Kaizen se unen personas que solucionan problemas o desarrollan estrategias (Brockhaus, 1997). Un evento de mejora continua consiste de un equipo de unos 5 ó (máx.) 8 personas que se juntan como grupo durante unos dos, tres, cuatro o cinco días. Lo habitual son cuatro días. Durante estos días se analiza un problema y se desarrolla una solución. Durante el evento se planifica la solución y se realiza parte de ella. Una de las diferencias más importantes entre un curso/evento habitual y un evento de mejora continua es que durante el evento de mejora continua se realizan gran parte de las soluciones (Panneerselvam, R., 2008). Gracias a la realización durante el evento, se puede comprobar la solución y mejorarla una vez más. Además se puede demostrar y comprobar que la solución encontrada durante el evento realmente funciona (KPC, 2008). Según R. Panneerselvam (Panneerselvam, R., 2008), todos los modelos de evento de mejora continua deben tener las fases de la formación del equipo, análisis de información básica, tormenta de ideas, implantación y evaluación de las alternativas, selección de la mejor alternativa y su implantación.

Cada evento de mejora continua se realiza durante un tiempo determinado y con algunas reglas anteriormente definidas. En el anexo A. se puede encontrar un diario representativo (Panneerselvam, R., 2008).

En el apartado siguiente se describen detalladamente los conceptos diferentes para un evento de mejora continua. Dichos conceptos son posibles maneras de realizar un evento de mejora continua y es importante conocerlos para el método desarrollado en este trabajo.

2.2.6.1. Los conceptos

Para mejorar la fabricación se pueden utilizar varios conceptos para realizar un evento de mejora continua. En el apartado siguiente se encuentran los conceptos más usados de la figura 2.11. Dado que el concepto Factory Leaness se parece mucho al concepto SPEED, no se detalla más aquí.

SMED, OTED, STED y NTED

El primer concepto que vamos a describir es el concepto de SMED. SMED es el acrónimo del cambio de herramienta en pocos minutos (Single Minute Exchange of Die, SMED) (Liker,J.U., 2007). La descripción siguiente es del libro “Making common sense common practice: models for manufacturing excellence”, de Ron Moore (Moore, R., 2004), dado que su descripción se centra también en la aplicación del concepto al cambio de herramienta de un puesto de trabajo de una fabricación industrial en general.

El concepto introduce la idea de que, en general, cualquier cambio de máquina o inicialización de proceso debería durar no más de 10 minutos, de ahí la frase en pocos minutos (expresando los minutos en un solo dígito). La paternidad del concepto se atribuye a Shigeo Shingo, uno de los mayores contribuyentes a la consolidación del TPS (Sistema de Fabricación Toyota), juntamente con Taiichi Ohno. Los conceptos equivalentes a SMED son los siguientes.

- OTED – Cambio de utillaje en las máquinas usadas en la fabricación por un contacto solo (One -Touch Exchange of Die)
- STED - Cambio de utillaje en las máquinas usadas en la fabricación por un contacto individual (Single -Touch Exchange of Die)
- NTED – Cambio de utillaje en las máquinas usadas en la fabricación sin ningún contacto (No -Touch Exchange of Die)

El objetivo de todos estos conceptos es disminuir el tiempo dedicado al ajuste, con el fin de conseguir cambios de utillaje rápidos o incluso ajustes instantáneos. Después del análisis de los ajustes internos y externos sigue la fase de la separación de los mismos. El siguiente paso es la transformación de los ajustes internos en externos. Al final sigue la racionalización de todos los aspectos de la operación de ajuste.

El concepto SMED es un concepto para la realización del evento de mejora continua que da el enfoque a la mejora del cambio de herramienta en un puesto de trabajo. En el apartado siguiente se presenta el concepto SPEED.

SPEED

Es un concepto para el evento de mejora continua con varias aplicaciones. El Kaizen Institute (Kaizen Institute, 2009) y el Kaizen Forum (Kaizen Forum, 2009), ambos de Alemania, lo han adaptado a la optimización del tiempo de preparación de un puesto de trabajo de una fabricación industrial. El concepto SPEED aquí presentado de ambas consultoras se distingue sólo muy poco de otras descripciones del concepto.

La palabra SPEED está compuesta por:

- S: (Standardization) Estandarización
- P: (Process optimizing) Optimización de procesos
- E: (Eliminate waste) Eliminación de desperdicios
- E: (Qualification of tool setter) Calificación del organizador de la máquina
- D: (Training permanente) Formación permanente

Según el concepto SPEED de Kaizen Institute y del Kaizen Forum (Kaizen Forum, 2009), hay seis pasos para la mejora del puesto de trabajo.

- Formación del equipo y planificación de la tarea: Para un evento de mejora continua es importante definir una tarea clara y medible. Para solucionar esa tarea se forma un equipo en el que siempre deben incorporarse las personas que trabajan en el puesto de trabajo. Además se incorporan personas que trabajan alrededor del puesto de trabajo, conocen bien el problema y que requieren el cambio.
- Primera adaptación del puesto de trabajo: Durante un cambio de herramienta se utilizan varios métodos para poder analizar el cambio de herramienta una vez éste está terminado. Estos métodos son sobre todo métodos de visualización y grabación, como fotos, vídeos y protocolos. Los métodos de análisis no se describen con más detalle, sólo se menciona en el diagrama Spaghetti y en la hoja de Gantt (ambos descritos en el capítulo 2.2.6.3.).

- Análisis y primera mejora: Mediante los resultados de los métodos aplicados anteriormente, hay que entender la situación actual. Juntando todos los resultados de los diferentes análisis se definen diferentes cambios en el proceso. Es importante concentrarse sobre todo en el cambio del cambio de herramienta interno al externo. Al final de esa fase se describe un proceso nuevo.
- Realización de los primeros cambios: Durante esta etapa se pretenden realizar al máximo posible los cambios definidos en el paso anterior. Algunos de los cambios son provisionales para poder evaluarlos.
- Segundo cambio de herramienta: Se realiza un segundo cambio de herramienta aplicando todos los cambios hechos en la etapa anterior. Aparte del control de los cambios de la etapa anterior, se investiga también el efecto de todos los cambios propuestos en la etapa tres.
- Segundo análisis, definición de las mejoras y plano de actividad: Después del segundo cambio de herramienta se analiza otra vez todo el proceso mediante los resultados del segundo análisis. Se definen todos los cambios y el tiempo que se requiere para la realización de dichos cambios. Al final se recogen todos los cambios en un plano de actividad y se calcula el efecto del cambio. El resultado final completo se presenta a todos los empleados de la empresa durante una presentación.

El concepto SPEED del Kaizen Institute (Kaizen Institute, 2009) y del Kaizen Forum (Kaizen Forum, 2009) es una guía para un evento general que permite mejorar un puesto de trabajo respecto a su adaptación al cambiar un bien fabricado. A continuación se presenta un concepto aún más general, el EKUV.

EKUV

El concepto para el evento de mejora continua descrito en este apartado es igual al más general, dado que su inventor (Porsche Consulting) realiza eventos de Kaizen no sólo en la producción industrial para la mejora del cambio de herramienta, sino también para la mejora de plantas industriales completas (incluyendo las oficinas). Porsche empezó con la aplicación en los años 90, por medio de su propia consultora, Porsche Consulting (Porsche Consulting, 2009). Desarrollado con la experiencia de miles de eventos de Kaizen en plantas industriales, Porsche Consulting lo usa en varias áreas e industrias.

El concepto general de EKUV sirve para encontrar soluciones para cualquier tipo de problema. Es una ayuda para encontrar todos los caminos de la solución de una manera organizada y estructurada. Los elementos básicos del método EKUV son los siguientes.

E – Eliminieren (Eliminación): Dado que en todos los procesos se trata de reducir la cantidad de subprocesos, es un punto fundamental. Mediante la reducción se puede llegar al problema que se encuentra detrás del problema visto en el primer momento.

K – Kombinieren (Combinación): En varios procesos se realizan las tareas una tras otra. Al combinar varias tareas se pueden definir nuevos procesos más rápidos y sencillos. Esa

mejora puede resultar de la combinación dentro del producto o del proceso de fabricación.

U – Umstellen (Cambio): Cuando existe un orden específico de los diferentes procesos, se debe comprobar si este orden es el óptimo. Un cambio del orden puede dar nuevas posibilidades.

V – Vereinfachen (Simplificación): Una fuente para la mejora de procesos puede ser su simplificación. Esta simplificación puede basarse en un cierto cambio del proceso que simplifica el producto o el proceso.

El elemento de la eliminación incluye el concepto de los desperdicios. Los desperdicios (japonés: muda) equivalen a todos los procesos y gastos que el cliente no valora y, por lo tanto, no quiere pagar (KPC, 2008). De esa forma hay que eliminar los inventarios, partes del proceso, defectos y transportes innecesarios, además exceso de fabricación, tiempos perdidos y movimientos innecesarios. En resumen: Se puede decir que se trata de la eliminación de todos los desperdicios descritos por Ohno (Ohno, 1997). La otra parte del elemento de la eliminación se refiere al concepto de Muri de Kaizen. Muri es el conjunto de sobrecargas del personal o de las máquinas que a lo largo del tiempo conduce hacia una disminución de las prestaciones (KPC, 2008). El concepto del EKUV es similar al análisis de ECRS (Eliminar, Combinar, Reponer y Simplificar). El concepto del EKUV, ampliado por Porsche Consulting, incluye, para la mejora del puesto de trabajo, no sólo los elementos de la eliminación, combinación, simplificación y del cambio de pasos. También existe la posibilidad de la preparación (el cambio de herramienta) externa. El cambio de herramienta interno y externo se ha descrito en el capítulo 2.2.3.

Durante varios años se han realizado análisis sobre los efectos de los diferentes elementos del EKUV ampliado y se ha obtenido el resultado de la figura 2.12. Se pueden observar los efectos que tiene cada elemento sobre la reducción del tiempo de cambio de la herramienta en una planta industrial. Es importante mencionar que la relación del efecto de los diferentes elementos no suele variar considerablemente. Si el tiempo total del proceso inicial es igual a 416 puntos, un cambio externo reduce de promedio unos 125 puntos del tiempo. La eliminación (83 puntos), la simplificación (47 puntos), la combinación (26 puntos) y el cambio (21 puntos) son los otros factores clave. Esto quiere decir que durante todo el tiempo del análisis de una gran cantidad de eventos se podía observar que el cambio externo siempre tiene una impacto importante.

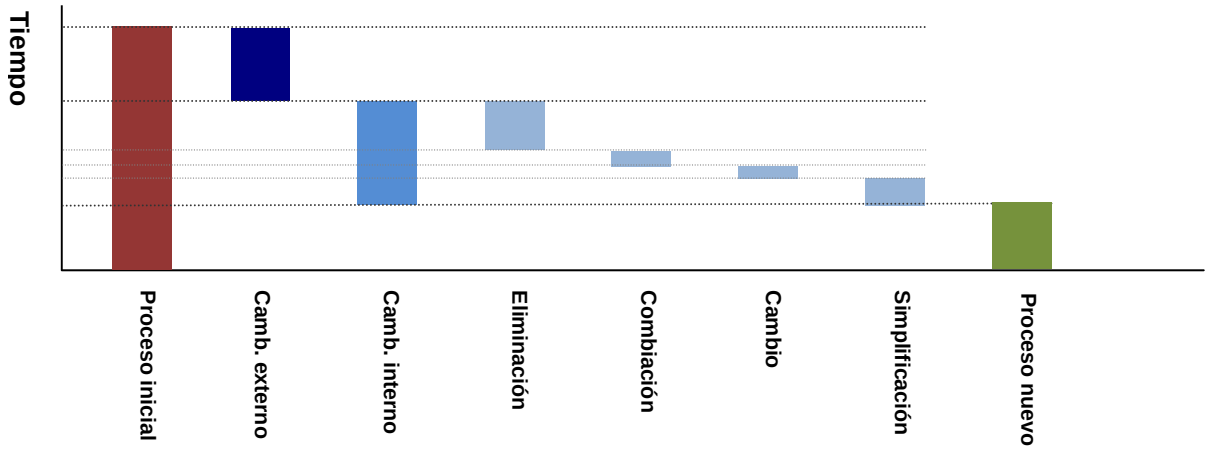


Figura 2.12.: Los diferentes elementos del concepto EKUV

Como se puede observar en el gráfico anterior, la mayor mejora respecto a la reducción del tiempo de cambio se obtiene por la implantación de un proceso de cambio externo y la eliminación de procesos. Este resultado verifica que el concepto EKUV se utiliza no sólo para la mejora del cambio de herramienta sino también para la mejora continua del propio proceso.

El EKUV, el SPEED y el SMED son conceptos que suelen guiar la realización de un evento de mejora continua. Mientras que el SMED se centra sólo en el cambio de herramienta, el SPEED amplía la idea para la adaptación de un puesto de trabajo y el EKUV es el concepto más abierto para la mejora de los procesos dentro de una fabricación en general. Cada uno de ellos se necesita para el establecimiento de las técnicas de la mejora continua en la fabricación, en las herramientas y en los métodos. Los conceptos no se limitan a herramientas o métodos en concreto y, por lo tanto, se pueden elegir casi libremente. En el capítulo siguiente se describen primero las herramientas más relevantes.

2.2.6.2. Las herramientas

Cada tipo de organización de un evento de mejora continua del capítulo anterior requiere herramientas y métodos para su realización. Estas herramientas ayudan a la realización de cambios durante un evento y su fin es siempre el mismo, pero su enfoque puede variar. Eso explica también el hecho de que diferentes empresas de consultoría utilicen distintas herramientas (Porsche Consulting, 2009).

Según Jennifer A. Farris (Farris, J. A., 2008), la introducción de la mejora continua depende de la orientación hacia la acción (análisis y teoría versus cambios físicos durante el evento) y de la selección correcta de herramientas. A continuación comentamos las herramientas más utilizadas.

- Punto del cliente visible:
  El punto del cliente visible (inglés CODP – customer order descoupling point) se define como el momento hasta el que se puede ver el pedido del consumidor en el proceso de la realización del producto. Hay que tener una planificación más detallada y muy cercana al consumo real. Diferentes niveles de planificación, tanto de tiempo como de responsabilidad, pueden ser de ayuda (Koenigsaecker, G., 2005).

- 5S:
  El nombre - las “5S” - proviene de las palabras que lo caracterizan, las cuales, en la transcripción fonética de los ideogramas japoneses al alfabeto latino, comienzan con “S”. El método de las 5 S es un concepto para conseguir un puesto de trabajo seguro, limpio y estandarizado en 5 etapas. Las etapas son las siguientes:

  - *Seiri (整理):* Organización. Organizar el puesto de trabajo y aislarlo de todo lo innecesario.
  - *Seiton (整頓):* Orden. Ordenar sólo lo necesario y situarlo de una manera clara e indicada.
  - *Seisō (清掃):* Limpieza. Limpiar no sólo el puesto de trabajo sino también todas las herramientas y máquinas.
  - *Seiketsu (清潔):* Estandarizar. Señalizar todas las anomalías tanto en el puesto de trabajo como en toda la empresa.

- *Shitsuke (躾):* Disciplina. Se requiere mucha disciplina para mantener el nivel logrado y establecido con un estándar. Una vez que se mantiene el estándar, se sigue mejorándolo.

Aplicar las “5S” no significa trabajar más, al contrario, al estar todo lo necesario ordenado en un ambiente despejado y limpio, el tiempo requerido para realizar las tareas es menor (de Haan, J., 2001).

- Cero defectos (Poka Yoke):
  El término "Poka Yoke" viene de las palabras japonesas "poka" (error inadvertido) y "yoke" (prevenir). Un dispositivo Poka Yoke es cualquier mecanismo que ayuda a prevenir los errores antes de que éstos sucedan, o los convierte en muy obvios para que el trabajador se dé cuenta y lo corrija a tiempo. La finalidad del Poka Yoke es eliminar lo antes posible los defectos en un producto, ya sea previniendo, ya sea corrigiendo los errores que se presenten (Wikilearning, 2009).

- Nuevos diseños de la fabricación:
  Al cambiar el layout o el diseño de la fabricación se puede optimizar su eficiencia. Al introducir una línea de U o una matriz en X se puede lograr una mejora importante (Bayou, M.E., 2008).

- Supermercado:
  Los supermercados de la mejora continua son como almacenes entre los diferentes puestos de trabajo donde no se puede realizar un flujo continuo. En el supermercado se guarda un número (definido por un máximo y un mínimo) de piezas o productos semiacabados para el proceso o puesto de trabajo siguiente. En cuanto la unidad de piezas almacenadas baja a un cierto nivel (mínimo), se manda una señal al proceso anterior (por ejemplo, mediante una señal Kanban) para que se produzca un lote definido. En contraposición a un almacén clásico, siempre se define un máximo y un mínimo (para cada producto) y, además, un proceso para su realización (igual al concepto del supermercado comercial). La mayor diferencia con un almacén es que el supermercado es un instrumento que manda a puestos de trabajo y de esa manera es un instrumento de la planificación y del control de la fabricación. Además se explota el supermercado conforme al principio de FIFO (el primer producto que entra es también el primero que sale). Así se evita un envejecimiento de la mercancía almacenada (RWTH Aachen, 2009).

- Reducción de los lotes:
  Para adaptar la fabricación a la necesidad del cliente, hay que adaptar la cantidad producida a la demanda. Al reducir el lote de fabricación, de una parte se incrementa la necesidad de cambio de herramienta, de otra parte se acerca la fabricación más hacia la demanda. De esta manera se pueden disminuir los almacenes, especialmente entre los diferentes puestos de trabajo (KPC, 2008).

- Equipos autónomos:
  Al formar grupos autónomos se puede reorganizar la fabricación de tal manera que se obtienen un control de calidad más adaptado al proceso y una

responsabilidad más elevada para el producto y su realización por parte de los trabajadores. Este efecto se puede ampliar al mejorar los conocimientos de los trabajadores. Cuando los trabajadores son capaces de trabajar en varios puestos de trabajo, la flexibilidad de la planificación de la fabricación incrementa considerablemente (Brockhaus, 1997). Esta herramienta es muy similar a las células de fabricación (Liker, J.U., 2007)

Las herramientas presentadas sólo son un extracto de todas las herramientas. Para el método de este trabajo son los más relevantes.

Durante un evento de mejora continua hay que analizar la situación real. Este análisis se realiza mediante los métodos que se presentan en el capítulo siguiente.

2.2.6.3. Los métodos de análisis

Los métodos se utilizan en el evento de mejora continua para realizar la fase de análisis. Aparte de las observaciones y las informaciones de los trabajadores del puesto de trabajo, los métodos de análisis son fundamentales para el éxito del evento. Para el éxito de un evento es importante que se mantenga la orientación hacia la acción mediante la selección de métodos adecuados (Farris, J.A., 2008). Los métodos de análisis se requieren, sobre todo, como información independiente sobre la calidad del proceso y para una valoración de tiempos, cantidades y caminos (Panneerselvam, R., 2008).

Un proceso de análisis pretende visualizar el estado actual y estructurarlo. Mediante los métodos de análisis se pueden, además, comparar y utilizar diferentes variables de tal manera que la búsqueda de un problema y su respectiva solución sean notablemente más fáciles (KPC, 2008).

Según la definición, un método es un remedio para el manejo de una situación compleja (Wikipedia, 2009). Mediante unos métodos de trabajo se pueden extraer las partes más importantes de un problema, reconocer conflictos de intereses y definir el punto esencial de la acción (Brockhaus, 1997). El uso de un método puede ayudar a superar barreras y mejorar la cooperación y comunicación entre los participantes de un evento (KPC, 2008).

A continuación agruparemos los métodos de análisis. Además se ofrece una breve descripción de los más representativos de cada grupo.

Diagrama de barras e histograma

Dado que existen varias definiciones de los diferentes diagramas de barras y del histograma, en este apartado se presenta la definición general de Brockhaus (Brockhaus, 1997).

Los diagramas de barras muestran, en proporción a la longitud de las barras, una comparación de cantidades entre dos variables, tales como frecuencia de eventos en diferentes posiciones, coste de diferentes tipos de fallos, etc. Éstas pueden ser horizontales y verticales, y son la forma más simple y común de mostrar una serie de datos. Los histogramas son instrumentos que suman una serie de datos tomados en una escala continua y demuestran la distribución de frecuencia de alguna curva o característica de calidad.

Pareto: Los diagramas de Pareto se usan cuando se necesita descubrir o mostrar la importancia relativa de datos o variables (problemas, causas, procesos, productos o condiciones), y

pueden examinar el cómo, el cuál, el dónde, el cuándo y el por qué de la(s) causa(s) de un problema. Es un diagrama de barras organizado de tal forma que los factores son trazados en orden decreciente de frecuencia. La curva de frecuencia acumulada identifica los pocos factores vitales que demandan mayor atención. Se emplea para ver qué problema o situación se debe atacar primero en el caso de que se descubran varios (Universität M, 2009). En el anexo B. se encuentra un ejemplo de este método de análisis.

Histograma: En la estadística, un histograma es una representación gráfica de una variable en forma de barras en la que la superficie de cada barra es proporcional a la frecuencia de los valores representados. En el eje vertical se representan las frecuencias, y en el eje horizontal los valores de las variables, normalmente señalando las marcas de clase, es decir, la mitad del intervalo en el que están agrupados los datos. Dado que es un diagrama más de cantidad que de precisión, se suele utilizar sobre todo para la comparación (Brockhaus, 1997). El anexo C. muestra un ejemplo.

Diagrama de Gantt: El diagrama de Gantt, gráfica de Gantt o carta Gantt es una popular herramienta gráfica cuyo objetivo es mostrar el tiempo de dedicación previsto para diferentes tareas o actividades a lo largo de un tiempo total determinado. A pesar de que, en principio, el diagrama de Gantt no indica las relaciones existentes entre actividades, la posición de cada tarea a lo largo del tiempo hace que se puedan identificar dichas relaciones e interdependencias. Fue Henry Laurence Gantt quien, entre 1910 y 1915, desarrolló y popularizó este tipo de diagrama en Occidente (Brockhaus, 1997). La hoja de medición del tiempo de proceso es una forma de un diagrama de Gantt simple. En el anexo D. se puede ver un ejemplo de una hoja de medición de tiempo de un proceso.

Diagrama de planificación

Los diagramas de planificación permiten identificar un problema que necesita ser corregido, relacionando con un problema clave y sus causas potenciales. En el concepto de la calidad total (TQM), esa relación de ligar causas y efectos es muy importante (Oxtoby, B. 2002). Algunos de los diagramas de planificación más importantes se pueden ver en la lista siguiente.

Ishikawa: El diagrama de Ishikawa se llama también diagrama de espinas de pescado o diagrama de causa-efecto. Fue concebido por el ingeniero japonés Dr. Kaoru Ishikawa en el año 1943. Se trata de un diagrama que consiste de una representación gráfica sencilla en la que puede verse de manera relacional una especie de espina central, que es una línea en el plano horizontal, representando el problema a analizar que se escribe

a su derecha. Las espinas forman las diferentes partes del problema que se pueden detallar casi sin limites al añadir más espinas (Brockhaus, 1997). El anexo E. muestra un ejemplo de este método de análisis.

Árbol de realidad: El método del árbol de realidad (inglés: current reality tree, CRT) fue desarrollado por Eliahu M. Goldratt en su libro de categorías para la legitimación de reservas (Categories of Legitimate Reservation) (KPC, 2008). El método empieza con una lista con todas las cosas que nos molestan alrededor de nosotros. Partiendo de ahí, nos pretende guiar hasta las soluciones para cambiar la situación. No hay una conexión directa entre la solución y el problema, por lo que se necesita un conocimiento muy profundo, tanto de la situación como del método (Porsche Consulting, 2009). En el anexo F. se encuentra un ejemplo.

Hojas de chequeo

Las hojas de chequeo de datos son un formato usado para registrar la frecuencia en que ocurren las características relacionadas con la calidad de cierto producto o servicio. Pueden medirse en una escala continua (longitud, peso, diámetro, tiempo, etc.) o en una relación sí/no. Se usan con más frecuencia para recoger datos sobre el número de artículos defectuosos (Wikipedia, 2009). Ejemplos de hojas de chequeo son las siguientes.

Las 5-M: Se trata de los 5 factores más importantes que hay que revisar: Mano de obra, maquinaria, material, método y misceláneas (como ambiente, gestión y mensurabilidad) (Mika, 2007). Se describe por escrito y después se ordena lo encontrado.

Las 7- preguntas: Es una lista de chequeo que da la respuesta a las preguntas que empiezan con las 7Q: qué, quién, por qué, cómo, cuándo, cuánto y dónde. Al responder todas las preguntas se suele llegar muy cerca del problema inicial. Otras siete preguntas son las preguntas de los siete por qué (Grupo Galgano 2005). Según Ohnos siempre se llega a la raíz del problema al preguntar siete veces por qué (Mika, 2007).

Las 3 MUs: Como se ha descrito anteriormente, Muda (desperdicio), Muri (sobrecarga tanto de los trabajadores como de las máquinas) y Mura (procesos inestables) son fundamentales para la mejora continua. El método de la lista de las tres MUs consiste simplemente en cada uno de los aspectos de los desperdicios, de las sobrecargas y de la inestabilidad del proceso y en espacio para comentarios respecto a cada uno de ellos. En el anexo G. se puede ver un ejemplo (Seibel, S., 2004).

Gráficos de control

Los gráficos de control se usan para monitorizar el comportamiento de un proceso de fabricación. Son representaciones de datos en varios formatos diferentes, tales como gráficos de línea y de parte del pastel. Los primeros son utilizados en diagramas de control y pronóstico, los segundos representan factores de calidad en los cuales cada parte es proporcional al número de veces que ocurren (Brockhaus, 1997). A continuación vamos a ver algunos de los representantes más importantes de los gráficos de control.

VSM: El mapeo de flujo de valor (inglés: value stream map, VSM) es uno de los métodos de análisis más importantes que se explica con más detalle en el apartado siguiente.

AMEF: El análisis de modo y efecto de fallo (AMEF) es una metodología de un equipo sistemáticamente dirigido que identifica los modos de fallo potenciales en un sistema, producto u operación de fabricación y ensamblaje causados por deficiencias en los procesos de diseño o en los propios procesos. También identifica características de diseño o de proceso críticas o significativas que requieren controles especiales para prevenir o detectar los modos de fallo. AMEF es una herramienta utilizada para prevenir o analizar problemas (Quality one, 2009). En el anexo H. se encuentra un ejemplo de un AMEF.

Diagrama Spaghetti: Es una representación gráfica sobre el plano de una planta o de un puesto de trabajo, en concreto de los movimientos de personas o mercancías. Partiendo de la información aportada por Spaghetti y de la aplicación de los principios lean, se reducen los desperdicios (muda en japonés). (KPC, 2008). El anexo I. muestra un diagrama Spaghetti de un evento.

Los métodos de análisis son fundamentales para obtener un análisis correcto durante un evento de mejora continua para una mejora continua y una calidad excelente. Dado que en este trabajo se elabora un nuevo método en base al VSM, este método se describe detalladamente en el capítulo siguiente.

El mapeo de flujo de valor

En este trabajo se desarrolla un método visual nuevo que se basa en una versión adaptada del flujo de valor. En los apartados siguientes se describe el método actual que, además, es uno de los métodos más importantes para el evento de mejora continua (KPC, 2007).

La primera vez que se utilizó el mapeo de flujo de valor fue en la empresa Toyota como “mapa de flujo de los materiales y de la información en una línea de fabricación” (Rother, y Shook, 1998). El uso de la metodología para la eliminación de desperdicios en las empresas, para alcanzar ventajas competitivas dentro de una organización, fue iniciado en los años 80 por el principal ingeniero de Toyota, Taiichi Ohno y Sensei Shigeo Shingo, orientados fundamentalmente hacia la productividad,

más que hacia la calidad (Brockhaus , 1997). Años después, Michael Porter propuso el concepto de "cadena de valor" para identificar formas de generar más beneficio para el consumidor y, con ello, obtener una ventaja competitiva. El concepto radica en realizar el mayor esfuerzo para lograr la fluidez de los procesos centrales de la empresa, lo cual implica una interrelación funcional que se basa en la cooperación (Rother, M., 2001).

En el apartado siguiente se describe en detalle el mapeo de flujo de valor.

Definición del VSM

Los mapas de flujo de valor (inglés: Value Stream Map, VSM) son los planos de la realización de un bien en una fabricación industrial. El VSM es una técnica que sirve como base para el rediseño de los sistemas productivos bajo un enfoque lean (Womack, 2002). El VSM es una representación en el papel de cada proceso, movimiento de material y circulación de información que proporciona la información clave.

Es distinto a un diagrama de flujo o a un layout, ya que muestra también los flujos de material e información. Un layout es la distribución de la maquinaria y equipo en una planta. Es una de las áreas estratégicas para determinar la eficiencia a largo plazo de las operaciones, siendo su objetivo un desarrollo tal de las actividades, que satisfaga los requerimientos (diseño del producto y volumen, equipos de proceso y capacidad, calidad de vida en el trabajo y restricciones de edificios y localización). El layout plasma la ordenación de procesos, las máquinas y equipos asociados y áreas de trabajo, incluyendo las de servicio de atención al cliente y las de almacenaje. Un layout efectivo también presenta el flujo de materiales y personal dentro y entre las áreas (Sahoo, 2007).

Esta herramienta permite que las compañías mapeen desde el flujo de materiales, que empieza desde la materia prima en su estado bruto y va pasando por diferentes procesos de transformación y manufactura, hasta llegar a ser un producto acabado. Además, siempre queda la posibilidad de crear un mapeo de flujo de valor para un proceso en particular (Tommelein, I.D., 1998).

El flujo de valor de un bien en una fabricación industrial se articula en una dimensión física (en circulación de bienes reales) y en una dimensión informacional (informaciones sobre las ventas, sobre las órdenes a cumplir, etc.). En la dimensión física se realizan operaciones que, a su vez, vienen planificadas y controladas desde el nivel dispositivo en que se efectúa el flujo informacional. Por eso, en el VSM no sólo se dibujan los flujos del bien sino también lo

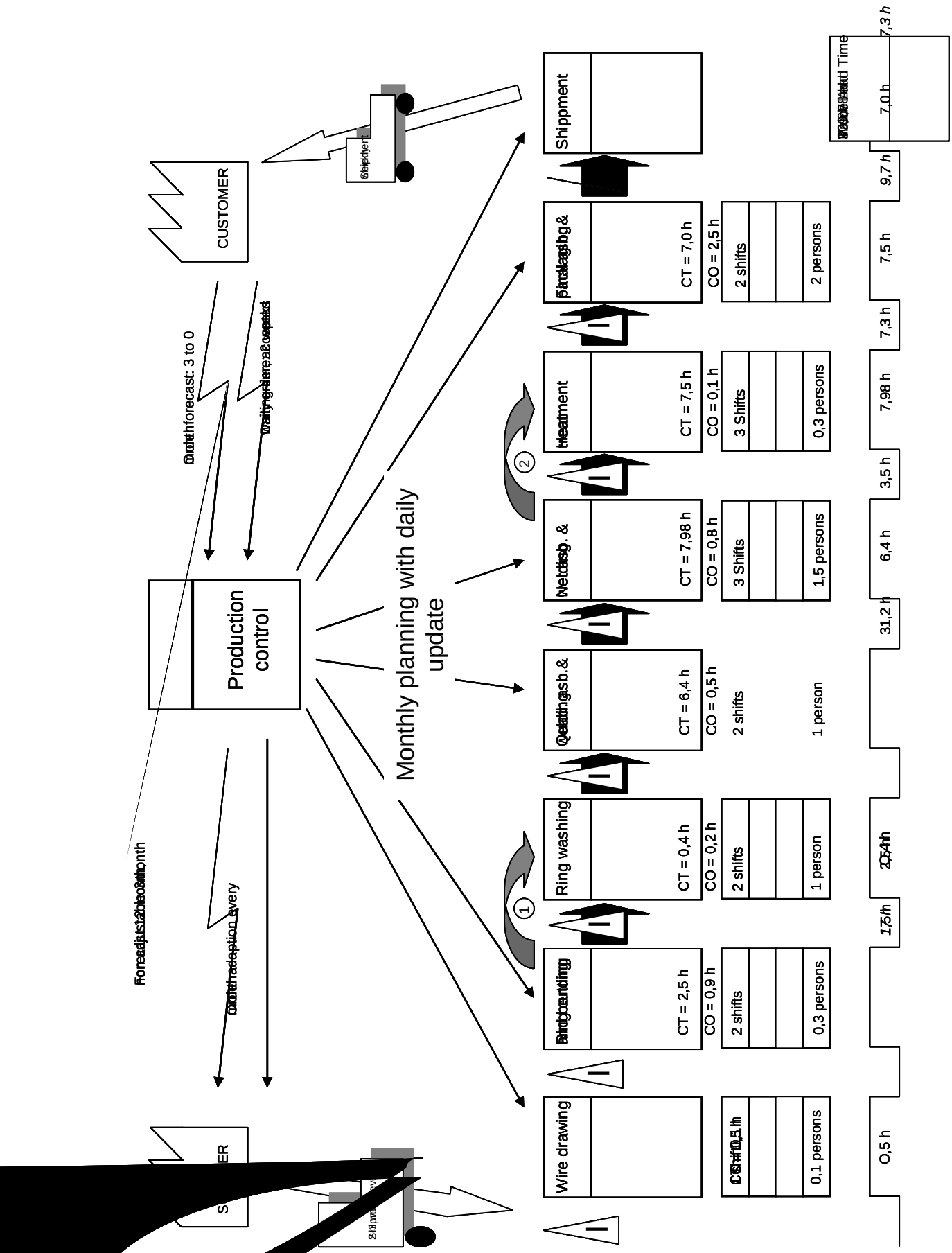


Figura 2.6: Ejemplo de un mapeo de flujo de valor

En cualquier VSM se pueden encontrar los siguientes puntos de especial interés (Ohno, 1997).

- Capacidad de trabajo: Es la cantidad de trabajo que es posible realizar de forma regular en una unidad de trabajo durante un período de tiempo determinado.

- Carga de trabajo: Se llama carga a la cantidad de trabajo a realizar en un centro, línea de fabricación o unidad productiva durante un determinado período de tiempo.

- Costo de preparación: Costo ocasionado por las actividades de puesta a punto para el funcionamiento de una máquina y/o un sistema de fabricación. Es muy importante, pues afecta directamente al dimensionamiento de los lotes. Para la disminución de los costos de preparación se aplica la técnica SMED, Single Minutes Exchange of Die o cambio de herramientas en menos de diez minutos.

- Cuellos de botella (estrangulamientos): Se denomina en aquellos procesos productivos en los que se generan tiempos de espera excesivos y que impiden el flujo regular del proceso hacia las siguientes operaciones.

A continuación se describe el desarrollo de un mapeo de flujo de valor con más detalle.

Como desarrollar un VSM

La descripción del desarrollo aquí presentado es del libro “Guidelines for Managing Physical Flows in Construction Sites” de Alves (Alves, T.C.L., 2000), pues en él se explican con suficiente detalle los pasos a seguir en una fabricación industrial.

El VSM es una herramienta que, mediante el empleo de iconos normalizados, integra en una misma figura los flujos logísticos de materiales y de información. Primero hay que conocer todos los elementos del VSM. El VSM es un método que puede describir una fabricación industrial muy detalladamente. Hay muchos iconos que representan diferentes formas de la organización en una fabricación. No es necesario conocerlos todos, pero los más relevantes se encuentran en el anexo J. (KPC, 2008).

Para el desarrollo de un VSM hay que entender el flujo de material y información (Alves, T.C.L., 2000). El flujo de información y materiales es una de las informaciones más importantes del mapeo de flujo de valor. Se debe distinguir entre la información del cliente y la información del proceso de material. La información que proporciona el cliente se inicia de derecha a izquierda. Ésta va fluyendo hasta el departamento de control de fabricación y, a su vez, este departamento la va a proporcionar al proveedor para que éste provea la materia prima requerida para la elaboración de los productos o del producto. La información del cliente se coloca en la hoja de mapeo del flujo de valor, en la parte superior de la hoja y, como ya se ha señalado anteriormente, fluye de derecha a izquierda. La información del proceso de material fluye de izquierda a derecha y se inicia desde el momento en que la empresa recibe la materia prima, continúa con la aplicación de todos los procesos de

transformación y va hasta que el producto acabado se envía al cliente. El flujo de información del proceso de material se anota en la parte inferior de la hoja de mapeo del flujo de valor. La figura 2.14. muestra lo anteriormente dicho.

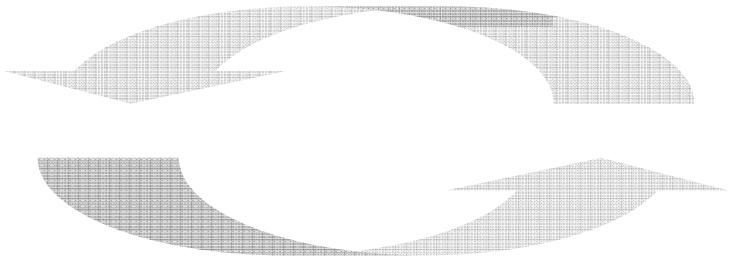


Figura 2.14. Direcciones de la información y del material

Ahora se describe el desarrollo de un VSM en 16 pasos (Alves, T.C.L., 2000).

1. Dibuje el icono del proveedor, cliente y control de fabricación.
2. Coloque los requerimientos por día y por mes.
3. Colocar la fabricación diaria y sus requerimientos.
4. Dibuje el icono del envío que sale al cliente y dentro la frecuencia de entregas.
5. Dibuje el icono de la entrega al cliente y dentro la frecuencia de entrega.
6. Se agregan los iconos del proceso en orden de izquierda a derecha.
7. Se agregan los iconos de información debajo de cada proceso.
8. Ahora se adjuntan todos los iconos de comunicación e información y la frecuencia con que se ejecutan.
9. Se obtiene la información del proceso y se añade en el cuadro de texto correspondiente.
10. Agregar los iconos y la cantidad de operadores.
11. Se agregan los iconos de inventarios y los días.
12 Agregar los iconos de empuje.
13. Agregar alguna otra información que sea útil o necesaria para la descripción del proceso.
14. Agregar las horas del proceso.
15. Revisar los ciclos del proceso.
16. Calcule el tiempo de ciclo total y los días requeridos.

Después del mapeo, en la parte inferior del mismo, se plasman los tiempos de cada operación, así como los de inventario. Los tiempos anotados en la parte superior de la cresta del icono se refieren a los tiempos de valor agregado, o sea, son los tiempos en los cuales se realiza la transformación al producto. Los tiempos que se anotan en la parte inferior corresponden a los que no generan valor agregado al producto (tiempos de espera). Es importante mencionar que se deben ir anotando todos los pasos y ciclos en la empresa (Alves, T.C.L., 2000).

En el anexo K. se encuentra una descripción del desarrollo de un VSM con más detalle.

Aparte de los métodos descritos, hay otros métodos varios que no se mencionan en este trabajo con más detalle. En el capítulo siguiente se describe por qué.

Otros métodos

Aparte de los métodos definidos en el capítulo anterior, hay varios métodos de multimedia, como la fotografía y el filme, entre otros (Ohno, 1997). Como estos métodos varían mucho dependiendo del autor, no se los puede considerar como métodos estandarizados. Dado que no sirven para el análisis de un puesto de trabajo o de un proceso de una manera cuantificativa, no forman parte de este trabajo.

2.3. La mejora continua fuera del área de fabricación

La mejora continua hoy en día es un concepto global que se adapta también fuera del área de fabricación industrial en todo el mundo. Toyota empezó en los años 80 a exportar su sistema de fabricación a todos sus diferentes centros de fabricación en todo el mundo. Se han establecido normas y reglas globales que se respetan en todas las unidades productivas y administrativas de Toyota (Ohno, 1997). En cualquier proceso administrativo, la orientación es hacia la identificación de las pérdidas de tiempo, el coste y la calidad (Roth, A.V., 2004).

Dado que este trabajo se centra en la mejora mediante un evento de mejora continua en una fabricación industrial, no se describe esa área con más detalle. Por otro lado, es importante recalcar que el autor está convencido de que el método aquí desarrollado es aplicable también fuera del área de fabricación industrial, ya que también la propia mejora continua ha conseguido desplegarse en otras áreas.

Capítulo 3

La productividad en la fabricación industrial

3. La productividad en la fabricación industrial

El desarrollo del nuevo método de este trabajo se evalúa en un caso práctico. En este capítulo se describe previamente la empresa y la línea de fabricación del caso práctico.

3.1. El caso práctico

El caso práctico tiene lugar en una empresa en Alemania. Es una empresa mediana que está situada en el mismo lugar desde su fundación, hace más de 175 años. Dado que la empresa tiene unos 200 empleados, se trata de una empresa representativa del sector industrial productivo de Alemania. El objetivo de la empresa es un crecimiento continuado y rentabilidad, manteniendo el liderazgo en sus productos y servicios. La experiencia de la empresa se centra en la metalurgia, la soldadura, el tratamiento térmico y la ingeniería de superficies.

La empresa pertenece a un grupo de empresas de familia alemanas. La empresa del caso práctico aquí descrito tiene 3 líneas de productos: Dos de ellas para dos productos sobre base de acero y una para un producto sobre base de aluminio. Uno de los productos sobre base de acero es la línea de fabricación del caso práctico de este trabajo.

La línea del producto es de especial interés, pues en el mercado de este producto existe una situación extraordinaria. Los clientes del producto en todo el mundo quieren elevar su capacidad y, por lo tanto, precisan de más productos suministrados por su proveedor alemán. Más de un 80% de la fabricación se exporta, de esa manera se compite con empresas de varios países. En el momento del estudio para este caso práctico, la capacidad de la empresa no puede satisfacer todos los pedidos. Por esa razón se pretende incrementar la capacidad sin tener que realizar una inversión muy elevada, ya que se trata de una situación excepcional de la que no se sabe cuánto durará.

Para incrementar la capacidad productiva con las máquinas existentes hay que analizar la situación actual. Son diversas máquinas las que se usan en el proceso de fabricación. Todas las máquinas están construidas especialmente para la fabricación del bien. Como el número de fabricantes de este producto es limitado y todos estos fabricantes quieren aprovecharse de la situación actual, hay pocas probabilidades de encontrar una máquina a un precio razonable. Así pues, no es factible aumentar la capacidad mediante máquinas nuevas, por lo que el objetivo del proyecto es incrementar la capacidad usando las máquinas existentes.

La calidad del producto es fundamental para la empresa alemana. Todos sus productos se sitúan entre los mejores del mundo, lo que también permite vender los productos con un precio ligeramente elevado. Para el caso práctico es importante saber que durante los cambios en la fabricación la calidad se debe mantener.

La fabricación del bien consiste de varios procesos que se describen en los apartados siguientes.

La materia prima se compone de diferentes aceros especiales. Dependiendo de los diámetros, el acero se suministra en forma de barra (para los tamaños grandes) o en forma de alambre en bobina. Para el uso de la materia prima en los siguientes procesos de fabricación, especialmente de las bobinas de acero, hay que rectificarla y pulirla con arena. Éste es un proceso interno que se está realizando automáticamente y que necesita muy poca mano de obra para su realización. Los cambios necesarios de las bobinas los realiza el personal de logística interna de

toda la planta. Como que las máquinas de rectificado y pulido están en una línea de fabricación, no hace falta ningún cambio entre un proceso y otro.

Otros componentes se fabrican mediante un proceso de forja. Como la capacidad de la forja de la empresa de este caso práctico es muy limitada, no se va a analizar este proceso. Además hay una parte importante de componentes suministrados para el proceso que se trata en el análisis como materia prima añadida durante el proceso. Hay que pulir parte de los componentes. Este proceso es necesario para obtener una superficie de contacto más limpia y, por tanto, una soldadura de más calidad.

El proceso más importante es la unión por soldadura. Primero se fabrican los componentes y después se unen para obtener el producto. En la figura 3.1. se puede ver un esquema de la fabricación. Cada mesa consiste de dos máquinas de soldar y un puesto de montaje. En el puesto de montaje trabaja una persona que monta y cierra los componentes para los dos puestos de trabajo en las máquinas de soldar. Para cerrar los anillos hay una máquina pequeña que se puede mover fácilmente. En cada máquina de soldar trabaja una persona. Gracias al sistema de rieles con motores, las mesas se pueden desplazar fácilmente. El puesto de montaje trabaja tan rápido (debido al proceso), que puede suministrar suficientes componentes para los dos puestos de las máquinas de soldar.

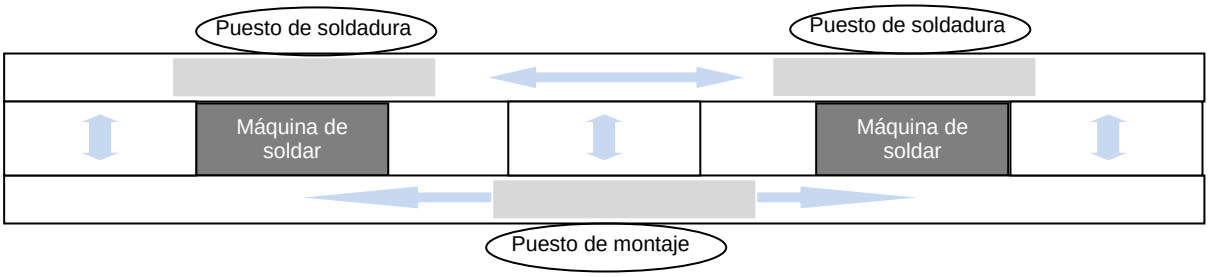


Figura 3.1. Sistema de montaje mediante mesas móviles

Una vez que el producto está soldado, el siguiente proceso es el tratamiento térmico. Después sigue el proceso del montaje final. Antes de empaquetar los productos en cajas de madera se sumergen en un líquido especial contra la corrosión. Este proceso lo realiza el mismo personal que se encarga del proceso de montaje final.

Desde el punto de vista de la tecnología de fabricación, la eliminación de los procesos de plegar y soldar los componentes es crítica. El primero es crítico porque se trata de la eliminación de un proceso que es obligado para el nivel de calidad en el proceso de soldadura. El segundo proceso es obligado para alcanzar un nivel adecuado en la utilización de las máquinas actualmente utilizadas en la empresa.

El estado final después del evento de mejora continua lleva a un cambio importante al simplificar el proceso de montaje y soldadura. Al unir los dos procesos en un proceso único en un puesto de trabajo singular, se reduce no sólo el coste del proceso (menos personal necesario) sino también el tiempo del proceso total (no hay más almacenes entre los dos productos). Se utilizan las técnicas de la mejora continua para los componentes y la técnica de fabricación en células para el proceso

en sí. Para hacerse una idea mejor de la máquina nueva, en la figura 3.2. se encuentra la construcción del nuevo puesto de trabajo.

Durante el proyecto se hicieron pruebas también de compatibilidad de este proceso con toda la gama ofrecida. El resultado fue que toda la gama se podía fabricar con el nuevo método. Aun así hay que decir que la ventaja respecto al tiempo que se ahorra no siempre es el mismo y depende del producto producido. En el caso práctico se aplica un producto de mejora mediana.

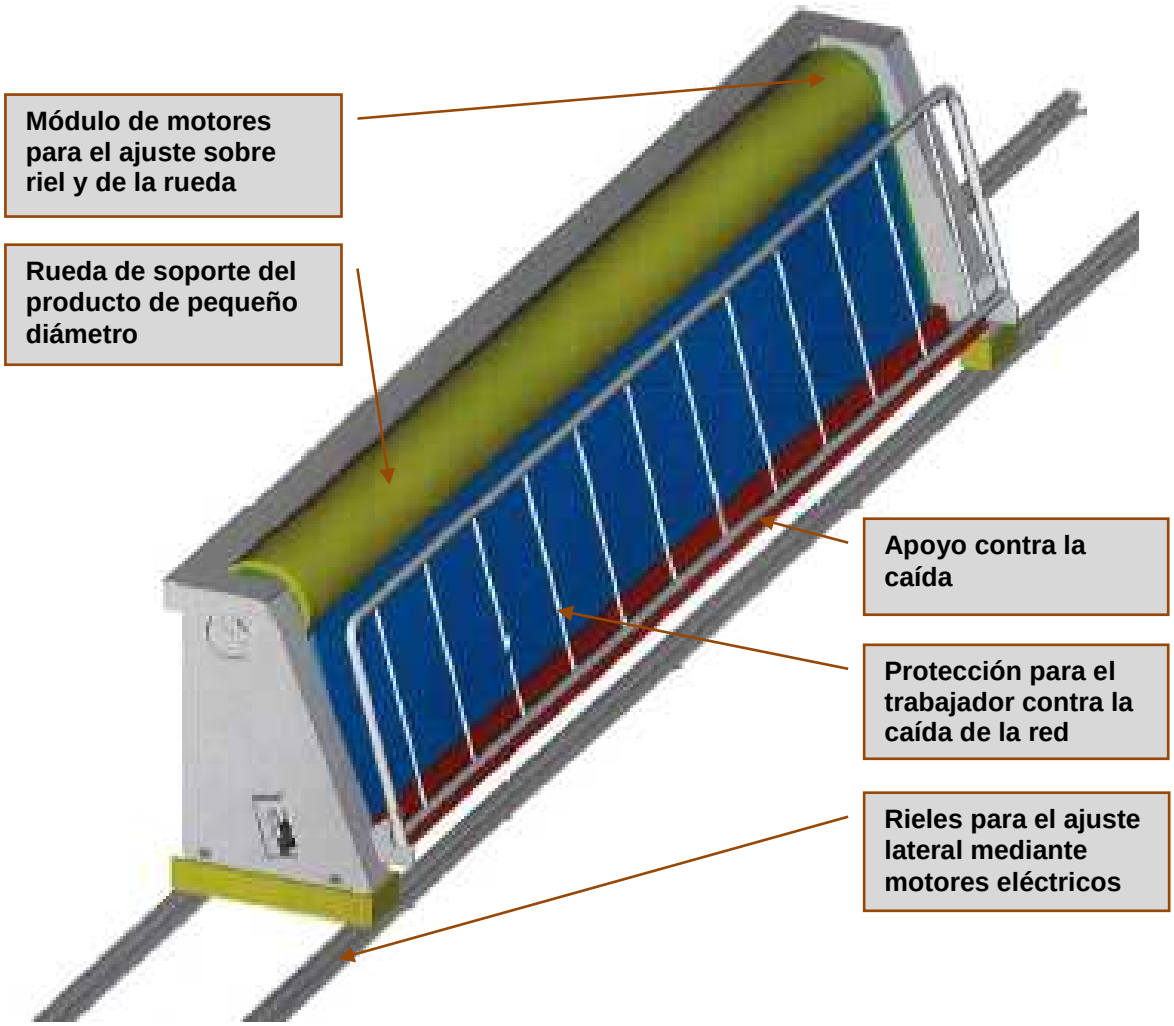


Figura 3.2. Construcción del nuevo puesto de trabajo.

Aparte del cambio del proceso anteriormente descrito, se cambiaron también durante el evento de mejora continua otros procesos, flujos de información y planificación. Todos los cambios importantes están demostrados en los mapas de flujo de valor correspondientes en la descripción del desarrollo del nuevo método.

Dado que la empresa es muy representativa del sector de las PYMES en Alemania (por su tamaño, sus diferentes productos, el nivel de investigación y desarrollo, el sector y sus posibilidades financieras) y la línea de fabricación del bien elegido también es representativa de su especie, el caso práctico se puede considerar como representativo.

Capítulo 4

El análisis y la evaluación del nivel productivo

4. El análisis y la evaluación del nivel productivo

En el capítulo anterior se han descrito los conceptos, las técnicas, las herramientas y los métodos de la mejora continua. Este capítulo se centra en las diferentes maneras de evaluar un cambio de un proceso industrial. Primero describe brevemente la evaluación financiera por medio del cálculo de coste. Después presenta el perfil coste y tiempo en su uso actual. Al final se centra en diferentes métodos de la literatura.

4.1. Evaluación financiera

La evaluación financiera elabora el cálculo de costes de la empresa para poder establecer precios de los bienes producidos. En este apartado se pretende dar una introducción general a dicho cálculo. Como el trabajo no se centra en la fijación ni en el nivel de costes ni en dicho sistema de coste financiero, se pretende dar una breve introducción para entender su concepto global.

Para el trabajo es importante que se pueda fijar un coste por hora por puesto de trabajo. Dado que dicho coste forma parte del método desarrollado en este trabajo y además es un coste importante para la fijación de cualquier precio de un bien, vamos a describir sus elementos básicos y su cálculo.

El cálculo del coste por hora de un puesto de trabajo permite definir el coste real de cada puesto de trabajo sin la necesidad de tener en cuenta la evolución del coste de otros puestos de trabajo (Bullinger, H. J., 1996). El coste del puesto de trabajo consiste sobre todo de los elementos siguientes (Däumler, K-D., 2004):

- Amortización: C_{AM}
- Intereses: C_{IS}
- Coste del mantenimiento: C_{M}
- Coste inmobiliario: C_{IN}
- Coste de la energía: C_{EN}

Tanto la descripción de las variables anteriores como el cálculo se presentan según el libro “Kostenrechnung 1. Grundlagen für Ingenieure” (Información básica del sistema de costes para ingenieros) de Däumler (Däumler, K-D., 2004).

Amortizar significa considerar que un determinado elemento del activo fijo empresarial ha perdido, por el mero paso del tiempo, parte de su valor. Para reflejar contablemente este hecho, y en atención al método contable de partida doble, hay que:

1. Dotar una amortización, es decir, considerar como pérdida del ejercicio la disminución del valor experimentado.
2. Crear una cuenta negativa en el activo del balance, que anualmente vería incrementado su saldo con la indicada disminución del valor del bien. De esta forma todo elemento del activo fijo de la empresa vendría reflejado por dos cuentas, una positiva, que recogería el valor de su adquisición u obtención, y otra negativa (llamada de amortización acumulada), en la cual se indica lo que vale de menos como consecuencia del paso del tiempo.

Los intereses reflejan el coste del capital de la empresa. Se debe diferenciar entre el interés de dos tipos de capital diferentes.

Para tener en cuenta que en un puesto de trabajo no se pueden utilizar todas las máquinas durante todo el año, se puede descontar entre un 10% y un 20% adicionalmente. Esa disminución del uso del puesto de trabajo viene dada por posibles fallos o tiempos de mantenimiento de la maquinaria (Bullinger, H. J., 1996).
Al coste por hora anteriormente calculado hay que añadir un coste para cubrir los gastos no productivos (como los administrativos). Este trabajo se centra en el coste directo del puesto de trabajo, ya que sólo se puede optimizar el coste directo del puesto de trabajo al cambiar la fabricación de un bien.

Aun cuando en este capítulo se ha presentado una manera únicamente matemática, existe también el perfil coste y tiempo.

4.2. Evaluación por el perfil coste y tiempo (PCT)

En este apartado vamos a describir el gráfico del perfil coste y tiempo (PCT) que permite visualizar la situación respecto al tiempo y coste de un proceso productivo. El perfil de coste y tiempo, también llamado curva de coste y tiempo, es un método gráfico para demostrar la evolución del coste de un bien procesado durante uno o varios procesos industriales a lo largo del tiempo (KPC, 2008).

La empresa Westinghouse Corporation elaboró un manual llamado “ganancias operativas mediante la gestión del tiempo y del inventario” (OPTIM – operational profit through time and inventory managemant). Los conceptos de este libro fueron publicados por Jack Fooks en su libro “el perfil del rendimiento” (Fooks, 2000). La idea fue desarrollada desde los años 1960 hasta los años 1990 y finalmente publicada en 1993. En el libro, Fooks reconoce que “la reducción del ciclo de fabricación es una fuente de un cambio radical en una empresa, no sólo en una planta de fabricación sino también en una oficina. Sobre la base de esta fuente, también se puede desarrollar un interés de todos los participantes en el desarrollo de los costes y del tiempo”.

Al final de cada línea de un proceso o una fabricación llegamos al punto del coste y tiempo totales de la fabricación (C_t). Véase en la figura 4.2. un ejemplo.

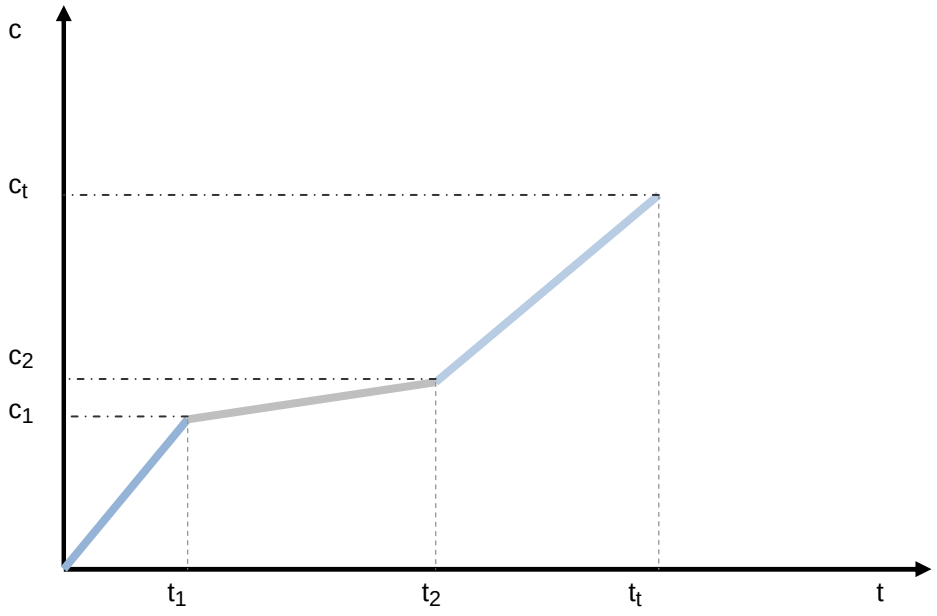


Figura 4.2. Perfil coste y tiempo general

Leyenda de la figura 4.2.

c coste
c_t coste total de la pieza
c_1 coste de la primera operación
c_2 coste acumulado después de la segunda operación
t tiempo
t_1 tiempo de la primera operación
t_2 tiempo acumulado después de la segunda operación
t_t tiempo de todas las operaciones

Hay dos elementos básicos en el perfil coste y tiempo, que son los siguientes (Fooks, 2000).

- Las actividades: Todas las actividades (o procesos) están representadas como líneas ascendentes, dado que cada actividad requiere tiempo y tiene su coste adicional.
- Los materiales: Cuando se añade material, hay un coste añadido al principio del nuevo proceso, lo que resulta en un salto positivo en el diagrama. De otro modo se puede decir que hay una línea vertical.

En la figura 4.2. se puede observar un perfil coste/tiempo para la fabricación de una pieza. La fabricación de la pieza consiste de tres procesos productivos. Cuanto más caro es un proceso de fabricación, más se eleva su pendiente (Fooks, 2000). Este fenómeno se elaborara en detalle en el capítulo 5.2. En el ejemplo anterior se puede ver que el primer proceso (la curva de color azul claro) es el más caro y el segundo proceso (la curva de color gris) el más barato. Además se puede analizar el efecto de los diferentes procesos sobre el coste de la pieza. Aunque el primer proceso es el más caro, el tercer proceso (la curva de color azul oscuro) es el mas influyente sobre el coste total. Respecto al tiempo empleado se puede ver que el segundo proceso es el que más tiempo requiere.

El PCT descrito por Fooks (Fooks, 2000) es un método por sí solo al que le falta la posibilidad de introducir los datos necesarios automáticamente. Además, no existe un análisis profundo sobre la curva en sí.

En el capítulo siguiente se resume todo la información encontrada en la literatura respecto al análisis y a la comparación de diferentes estados de fabricación industrial en lo que se refiere a su potencial para la mejora continua.

4.3. Métodos de análisis de la literatura

Hay varios modelos de métodos para medir el nivel de la mejora continua alcanzado en una empresa. Entre otros, existe el método de la observación de cuántas herramientas de la mejora continua se aplican en un proceso o puesto de trabajo. Dado que no se trata de métodos singulares o métodos estrictamente definidos, el autor de la presente tesis ha resumido las posibilidades encontradas en la literatura en la tabla 4.1. de las páginas siguientes.

Bibliografía	Puntos fuertes +	Puntos débiles -
Barker, R.C. (1994)	• reconoce la importancia del tiempo • en base a la idea del mapeo del flujo de valor pueden incorporarse no sólo una línea de fabricación sino varias, incluso también varias empresas	• falta de medición del nivel productivo, más descriptivo • se centra en el tiempo y olvida la importancia de los costes
Boyer, K.K.(1996)	• elabora una relación entre el reconocimiento de la mejora continua por parte de los empleados y el uso de las herramientas de la mejora continua. Sobre esta base se pretende “evaluar y medir” el nivel de Kaizen alcanzado	• no elabora una medición directa • relación de reconocimiento por parte de los empleados y nivel de la mejora continua alcanzado, no ofrece una evaluación cuantitativa
Diekmann, J.E. (2003)	• adaptación de los métodos de la mejora continua a diferentes industrias	• es un documento de una conferencia y no contiene más detalle sobre un método de evaluación del nivel de la mejora continua en concreto
Feld, W.M. (2000)	• un método matemático para el cálculo teórico del progreso posible mediante herramientas de la mejora continua	• por su complejidad no es universalmente aplicable

Forza, C. (2000)	• se trata de un cuestionario sobre el uso y los resultados de la aplicación de la mejora continua	• los resultados obtenidos no se analizan • el resultado es una descripción de los cambios específicos al caso en concreto
Jordan, J.A. (2001)	• análisis de percepción de los efectos de la mejora continua de los empleados, socios, proveedores y clientes de una empresa	• basado en un cuestionario, ofrece un resultado descriptivo • uso en general difícil
Kaplinsky, R. (2004)	• desarrollo de un índice nuevo para la comparación de diferentes empresas • se centra en la comparación de empresas	• un índice para empresas que deja muchas preguntas abiertas, en cuanto se quieren analizar las mejoras en profundidad • como que adicionalmente existe un índice para una sola empresa, no se pueden evaluar diferentes puestos de trabajo o departamentos
Karlsson, C. (1996)	• resumen de las diferentes áreas de Kaizen • descripción de posibles cambios debido al uso de la mejora continua	• falta una evaluación cuantitativa y a modo general
Kirby, K.E. (2003)	• elabora el cambio de CAM a la mejora continua • describe la mejora mediante las diferentes herramientas	• no representa ninguna justificación teórica para la mejora del flujo de valor por el uso de la mejora continua

McDonal, T. (2002)	• resumen de varias maneras de medir el progreso durante un evento de la mejora continua usando diferentes métodos del evento	• la medición es muy específica para los casos concretos • no se desarrolló un concepto de un método para el uso general
Ragu-Nathan, T.S. (2005)	• adaptación de las herramientas de la mejora continua al flujo de valor desde el punto de vista de logística	• mide el cambio debido al uso de las herramientas de la mejora continua mediante coeficientes de logística y, así, limita el resultado al sector logístico
Shah, R. (2003)	• diferentes métodos están agrupados • utilizado por el autor para analizar las relaciones entre las diferentes herramientas utilizadas • este método se puede utilizar como assessment tool	• inicialmente no pensado para medir el nivel de la mejora continua • demuestra una relación estadística entre el resultado de una fábrica y el uso de prácticas de Kaizen • falta la evaluación directa del nivel de la mejora continua y su impacto sobre los resultados de la empresa
Soriano-Meier, H., (2002)	• para una mejora se requiere no sólo una mejora en la productividad de la fabricación y de la logística sino también en el soporte de los empleados	• no especifica la posibilidad de medir o comparar el nivel de Kaizen alcanzado

Tapping, D. (2002)	• se centra sobre todo en un análisis del límite de la mejora continua	• no se trata de un método para el análisis de un proceso o puesto de trabajo, ya que se centra en el límite absoluto de la mejora continua

Tabla 4.1. Literatura de los métodos de nivel de productividad

En este trabajo se trata de desarrollar un método de análisis del nivel de la mejora continua en un puesto de trabajo, un proceso o en un departamento de fabricación en una empresa de un sector industrial. Por lo tanto, se pretende desarrollar un método para medir y comparar resultados y no para medir la calidad de aplicación de las diferentes prácticas.

El análisis en base al mapeo de flujo de valor según Barker (Barker, 1994) es la forma más cercana al método de análisis y evaluación visual desarrollado en este trabajo. Aunque se analiza sólo el tiempo, es importante que se elabore la diferencia entre el tiempo en que se añade valor y el tiempo en que no se añade ningún valor. Esta diferencia es esencial, cuando se quiere llegar a la determinación de un límite. Barker no desarrolla una manera de comparación entre el límite de tiempo y el estado actual. Además queda abierto el desarrollo de un gráfico fácil de aplicar y entender.

En el apartado siguiente se va resumiendo lo encontrado en la literatura respecto al desarrollo de un método visual.

4.4. Conclusiones de la literatura para el desarollo del método

En el capítulo 2 se ha analizado en detalle la mejora continua y el evento de mejora continua con sus diferentes conceptos, técnicas, herramientas y métodos. Se ha resumido la diferencia entre la mejora continua y la innovación y se ha descrito el método del VSM y el PCT en detalle. Al final se ha expuesto un resumen sobre la literatura actual para la evaluación de diferentes estados de fabricación y la medición del nivel de lean alcanzado en una fabricación. De una parte, se ha descrito el modelo financiero y, de otra parte, los modelos de investigación.

Respecto a los métodos de análisis del evento de mejora continua se puede resumir que la mayoría de ellos sirven para el análisis de un proceso o puesto de trabajo. Mediante el uso de estos métodos en un concepto de la mejora continua se pueden definir las herramientas adecuadas para poder establecer las técnicas adecuadas para implementar una mejora continua. De especial interés era el mapeo de flujo de valor (VSM), ya que es un método cuantitativo que permite realizar un gráfico de la situación total en un proceso o puesto de trabajo. Al VSM le hace falta, por una parte, el coste de la fabricación, pues se centra sobre todo en el tiempo y, por otra parte, la posibilidad de visualizar un proceso o una fabricación en una curva.

La evaluación financiera pretende demostrar la situación de los costes actuales para poder establecer un precio o un valor final para un bien fabricado. El problema es que nos interesa conocer no sólo el efecto en los costes cuando se cambia la fabricación sino también conocer los procesos más importantes y la

evolución del tiempo. Además es necesaria la posibilidad de una evaluación gráfica rápida y comprensible para la mayor parte del personal de una fabricación.

Resumiendo la literatura del capítulo cuatro con respecto a la evaluación de diferentes estados de fabricación, es menester distinguir entre dos tipos diferentes para medir la mejora durante un evento de mejora continua. Estos dos tipos son los siguientes

1.) Medir el nivel de herramientas usadas en un proceso, puesto de trabajo o línea de fabricación. Se centra en la medición de la manera en que se realiza el cambio hacia la mejora continua.

2.) Medir la productividad en relación con los recursos utilizados en un puesto de trabajo, un proceso o una línea de fabricación. En varias ocasiones se comparan diferentes empresas para definir puntos de referencia.

Como que para cada empresa existe una configuración individual, resulta difícil medir el nivel de la mejora continua en una empresa mediante el tipo uno del análisis de las herramientas y los métodos aplicados durante un evento de mejora continua o de las técnicas aplicadas en la fabricación. Hay que tener en cuenta que los conceptos, las técnicas, las herramientas y los métodos presentados en este trabajo sólo representan una pequeña parte de todos ellos. Shah y Ward (Shah, R., 2003) han identificado unas 22 herramientas “imprescindibles” para establecer el Kaizen de manera sostenible en una empresa. Aunque hay unas más importantes que otras, queda la duda de si es necesaria y útil la medición del nivel de la mejora continua en un puesto de trabajo simplemente en base a la aplicación de las técnicas, las herramientas y los métodos, sin tener en cuenta los resultados obtenidos. Cuando uno se imagina un puesto de trabajo, resulta difícil encontrar y definir la aplicación de múltiples herramientas y técnicas incluyendo la intensidad de su uso.

Respecto al segundo tipo de los métodos, se ha revisado la literatura de las posibilidades más importantes del análisis del nivel de la mejora continua aplicado en un proceso o puesto de trabajo. El segundo tipo se caracteriza por el uso de modelos matemáticos. Debido a la complejidad de éstos, hay dificultades en su uso y aplicación.

Después de la revisión de la literatura queda abierto el desarrollo de un método para la comparación, el análisis y la evaluación de cambios dentro de la fabricación. Este trabajo pretende, en especial, elaborar un método fácil de aplicar y visualizar. El resultado debe demostrar el estado del proceso analizado desde el punto de vista del cliente (sea interno o externo) y mostrar un posible límite lean.

Capítulo 5

El desarrollo de un método visual

5. El desarrollo de un método visual

Después de haber descrito la filosofía de la mejora continua y las posibilidades de medición de cambios en una fabricación industrial en los capítulos anteriores, ahora se desarrolla el nuevo método PECOTA.

El nombre de PECOTA viene del perfil de coste y tiempo sobre la base del mapeo de flujo de valor adaptado. El PECOTA, que consiste de un mapeo de flujo de valor adaptado (inglés: adaptated value stream map, AVSM) y de un perfil de coste y tiempo (PCT), se desarrolla paso a paso en este capítulo.

Como se ha descrito en el capítulo uno, el objetivo de este trabajo es encontrar un método útil y fácil de aplicar para la evaluación actual de la situación en una fabricación industrial. Para poder desarrollar un método adecuado hay que definir, antes de todo, los futuros usuarios. Una vez definidos tanto los usuarios como sus requisitos, se explicará el nuevo método y su aplicación.

Conforme a la teoría de que cualquier proceso industrial se basa en cuatro elementos, se define cada uno de los elementos y se describe su influencia sobre el proceso. En este trabajo se divide un proceso industrial en los elementos siguientes.

- la espera
- el cambio de herramienta
- el material añadido
- el proceso de valor añadido

Cada elemento juega un papel importante en un proceso. Además vamos a analizar el coste por hora de un proceso en general. En base a estos elementos y al PECOTA, se desarrolla el coeficiente de la inversión por tiempo y coste.

Para cada elemento se define, al final del apartado correspondiente, una propuesta de actuación basada en los índices y los conceptos, las técnicas, las herramientas y los métodos de la mejora continua (presentados en el capítulo dos).

Sobre la base de un caso práctico y real, se describen las influencias y se desarrolla el concepto que al final incluye también ciertos límites lean.

Para empezar, se define primero el entorno del nuevo método.

5.1. Definición del entorno del método nuevo

Conforme a la teoría básica de la mejora continua (presentada en detalle en el capítulo dos), cada cliente sólo está dispuesto a pagar por lo que agrega valor. Cualquier proceso o actuación que vaya más allá de lo que el cliente está dispuesto a pagar es un desperdicio (véase capítulo 2.2.1.). Así que este método debe enseñarnos de una manera fácil el estado actual, los posibles puntos de mejora y un posible límite de mejora en base a los procesos actuales.

5.1.1. Definición del usuario y sus requisitos

Hoy en día todas las personas responsables de uno o varios procesos de fabricación industrial tienen que mejorar la productividad. Dado que en este trabajo queremos elaborar un método fácil de aplicar para el análisis de un proceso y encontrar también su límite (eliminando todos los desperdicios), se pueden definir como usuarios aquellas personas que tienen que estar interesadas en la evaluación de la productividad en una fabricación industrial.

Dependiendo del nivel de la mejora continua alcanzado en una empresa, hay más o menos personal responsable para la aplicación de la filosofía Kaizen. En el caso de que la empresa tenga muchos años de experiencia y aplicación de la mejora continua, todo su personal ya conoce la mejora continua. En empresas de este tipo, el método de este trabajo debe ser entendido y aplicado por todo el personal relacionado con la fabricación industrial. Dado que en este caso el personal tiene una cualificación elevada respecto a la aplicación de métodos, los requisitos para ellos son, sobre todo, la posibilidad de profundizar la búsqueda de desperdicios y el establecimiento de referencias. Estas referencias pueden ser externas o internas.

En el caso del uso de este método por el personal de una empresa menos familiarizada con la mejora continua, el método suele ser aplicado por los responsables de un proceso, una línea de fabricación o una planta. En este caso se trata de los jefes de equipo, los directores de la planta y, en algunos casos, de los directores y gerentes generales (dependiendo del tamaño de la empresa; en general hablamos de PYMES, como en el capítulo tres). Estas personas quieren conocer su proceso actual y encontrar las áreas de mayor enfoque para eliminar los desperdicios.

Respecto a los requisitos del método, destaca, sobre todo, que la base de datos sea de fácil acceso. Cuando se realiza un evento de mejora continua en una empresa, se requieren ciertas informaciones. Se pretende encontrar un método que requiera la mínima información posible adicional a la información elaborada de los métodos de la mejora continua más importantes. Esa información tiene que consistir de datos básicos y fácilmente obtenibles.

Resumiendo los usuarios y los requisitos, se puede limitar el uso del método a personal que a modo general tenga experiencia con métodos. Es importante que el método visualice bien los mayores desperdicios y que se puedan establecer ciertos puntos de referencia. Además debe salir de una base de datos fácilmente accesibles. Como que el método nuevo tiene que basarse en un método muy común de la mejora continua, se ha elegido el VSM como base adecuada. A continuación se describe el cambio del VSM al nuevo AVSM.

5.2. El mapeo de flujo de valor adaptado (AVSM) y los elementos de un proceso industrial

En este trabajo se supone que cada proceso industrial de cualquier fabricación industrial consiste de cuatro elementos. Estos elementos son los presentados en el capítulo anterior (la materia prima, el cambio de herramienta, el proceso de valor añadido y la espera).

Antes de investigar más en cada uno de los elementos, hay que definir el método adecuado para el análisis de cada uno de ellos e introducir el concepto del coste por hora para el PECOTA.

5.2.1. El mapeo de flujo de valor adaptado (AVSM)

Como se ha descrito en el apartado anterior, para un método nuevo es imprescindible tener una base de datos fácilmente accesible. Dado que el mapeo de flujo de valor (inglés: value stream map, VSM), como está descrito en el capítulo dos, es un método fundamental en cualquier evento de mejora continua, el VSM es la base del método descrito aquí. Para el PECOTA se ha cambiado el VSM al

mapeo de flujo adaptado (inglés: adjusted value stream map, AVSM). A continuación se desarrollan y presentan los ajustes.

Como se ha descrito en el capítulo 2.2.6.3. en un mapeo de flujo se representa cualquier proceso industrial con (Rother, M., 2001)

- su tiempo del proceso total (t_t)
- su tiempo del cambio de herramienta (t_{CH})
- el personal necesario (Personas)
- los turnos del personal (Turno)

Las informaciones sobre el proceso deberían dar una idea sobre los recursos necesarios para realizar un determinado proceso. La información incluye el tiempo del proceso (T_p), el tiempo del cambio de herramienta (T_C), las personas relacionadas con la realización del proceso (Personas) y los turnos (Turno) de trabajo. En la figura 5.1. que se expone a continuación se puede observar cómo dicha información se presenta en un VSM.

Proceso I	
Reafilar materia prima	
Tp [h] =	0,35
Tc [h] =	0,05
Personas =	0,5
Turno =	1

Figura 5.1. Proceso en un mapeo de flujo de valor (VSM).

La descripción del proceso de la figura 5.1. deja abiertos los costes, tanto de la materia prima utilizada en el proceso como los costes de la realización del proceso. En el AVSM se encuentran no sólo los costes de la materia del proceso (C_{MP}), sino también los costes de los elementos (C_{VA} - coste del proceso de valor añadido, C_{CH} - coste del cambio de herramienta, C_{ES} - coste de la espera). A continuación se encuentra una descripción de un proceso industrial del AVSM.

Proceso I	
Reafilar materia prima	
t_{IVA1} [h] =	0,35
t_{ICH1} [h] =	0,05
Personas =	0,5
Turno =	1
C_{IMP1} [EUR] =	150
C_{IMA1} [EUR/h] =	93
C_{IVA1} [EUR]	32,6
C_{ICH1} [EUR] =	4,7
C_{IP1} [EUR] =	37,2

Leyenda:

t_{ICH1}: Tiempo (t) del estado inicial ($_I$,estado final sería $_{II}$) del tiempo de cambio de herramienta ($_{CH}$) del proceso número uno ($_1$).

Figura 5.2. Proceso en un mapeo de flujo de valor adaptado (AVSM).

Comparando las figuras 5.1 y 5.2., se puede observar que toda la información del VSM se encuentra también en el AVSM. Así se encuentran los datos del tiempo del cambio de herramienta (t_{CH}), del tiempo del proceso de valor añadido (t_{VA}), de las personas necesarias para la ejecución del proceso (Personas) y de la cantidad de turnos necesarios (Turno). Como se verá en los siguientes apartados, la información de las personas y los turnos sólo tiene carácter general, sin embargo, los tiempos son de gran importancia. Como información nueva se encuentra el coste del puesto de trabajo por hora (C_{MA}). Este coste incluye el coste del personal necesario para el proceso y, además, el coste de la máquina y su infraestructura. En base a este coste se pueden calcular automáticamente, con los tiempos t_{VA} y t_{CH}, los costes del proceso de valor añadido (C_{VA}) y del cambio de herramienta (C_{CH}). Se supone en este trabajo que el coste por hora del cambio de herramienta sea igual al coste por hora del proceso de valor añadido. En los apartados de los dos elementos se explicará dicha suposición con más detalle. Sumando los costes de la materia prima, del cambio de herramienta y del proceso de valor añadido, se llega al coste del proceso (C_P).

Como se indica en la leyenda de la figura 5.2., cada coste y tiempo está clasificado no sólo respecto al elemento de proceso (por ejemplo $_{CH}$ para cambio de herramienta) sino también por el estado que representa el AVSM y el proceso en concreto.

Para completar los datos sobre cada proceso en el AVSM hacen falta los datos de la espera, su tiempo y su coste. En el VSM se puede encontrar el tiempo de espera después de cada proceso. En el AVSM se calcula un coste correspondiente. Dicho cálculo basado en un interés anteriormente fijado, se describe con más detalle en el capítulo 5.2.2. En la figura 5.3. se puede observar el tiempo y el coste de espera indicados en el AVSM.

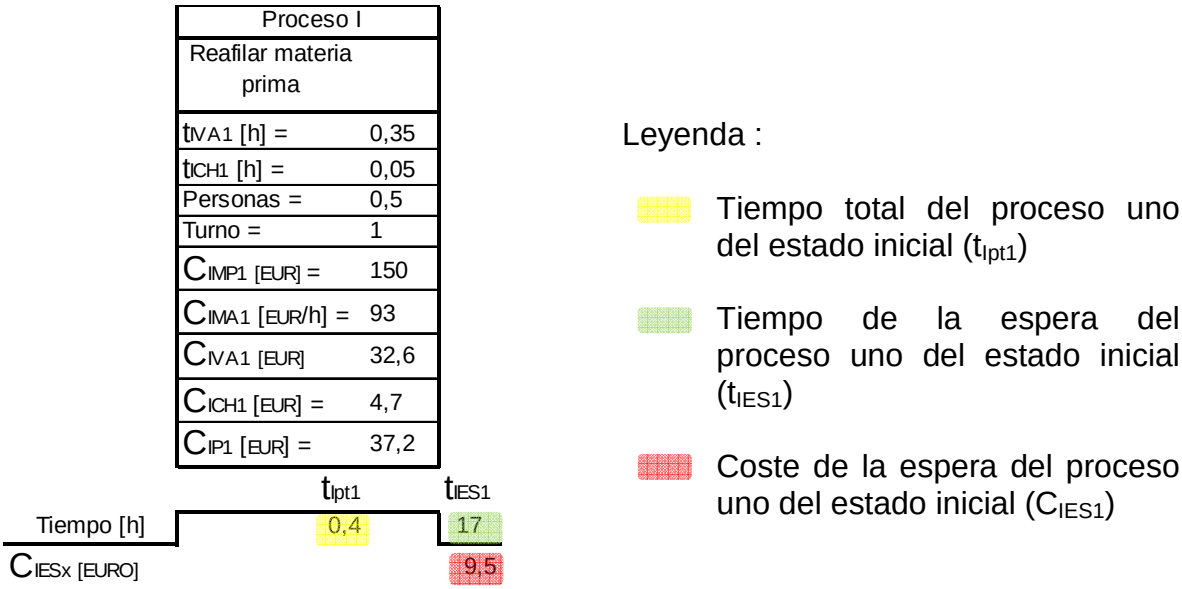


Figura 5.3. La espera dentro del AVSM

En la figura 5.3. se encuentra un proceso industrial en un AVSM con todos los datos de los elementos del proceso. Está indicado el tiempo (t_{IES1}) y el coste (C_{IES1}) de la espera del estado inicial (antes del evento de mejora continua) del proceso uno.

Resumiendo la diferencia entre la descripción de un proceso industrial en el VSM y en el AVSM, queda el coste por hora del puesto de trabajo y un interés para la espera. Como que ambos datos deberían existir en cualquier empresa que tiene un sistema de centros de costes (necesario para calcular cualquier coste de producto; véase el capítulo cinco), se trata de datos fácilmente accesibles. Sobre la base de estos dos datos se pueden calcular todos los datos restantes automáticamente en el propio AVSM.

En la figura siguiente se puede observar un AVSM de una fabricación industrial de un bien de seis procesos diferentes (el caso práctico descrito en el capítulo tres).

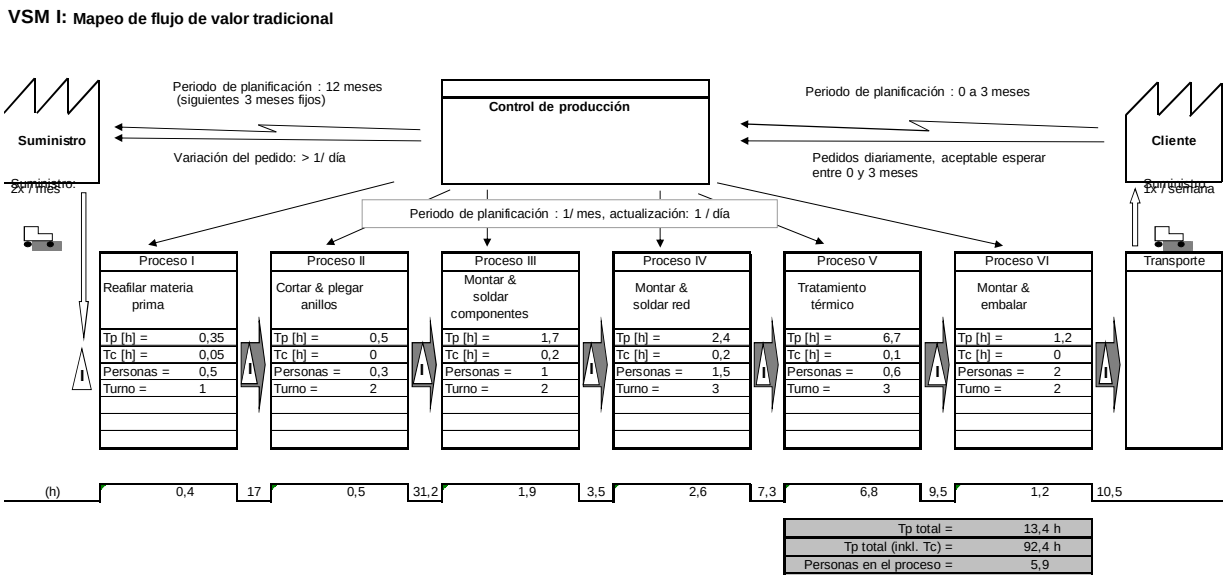


Figura 5.4. Fabricación en un mapeo de flujo de valor (VSM)

En el anexo L se encuentra el VSM del estado inicial en una página para verlo mejor. El VSM incluye también los tiempos totales de los procesos ($T_{p\ total}$), las personas totales que se requieren, si todos los procesos se están realizando al mismo tiempo (Personas totales), así como el tiempo total de la fabricación con espera ($T_{p\ total\ (incl.\ Tc)}$).

En la figura 5.5. se encuentra el AVSM del mismo estado de la fabricación del bien industrial del caso práctico. También la figura 5.5. se encuentra en el anexo (anexo M.) más grande (igual al AVSM del estado final, en el anexo N.). Como se puede observar en la figura, el gasto en su elaboración no es de mayor importancia.

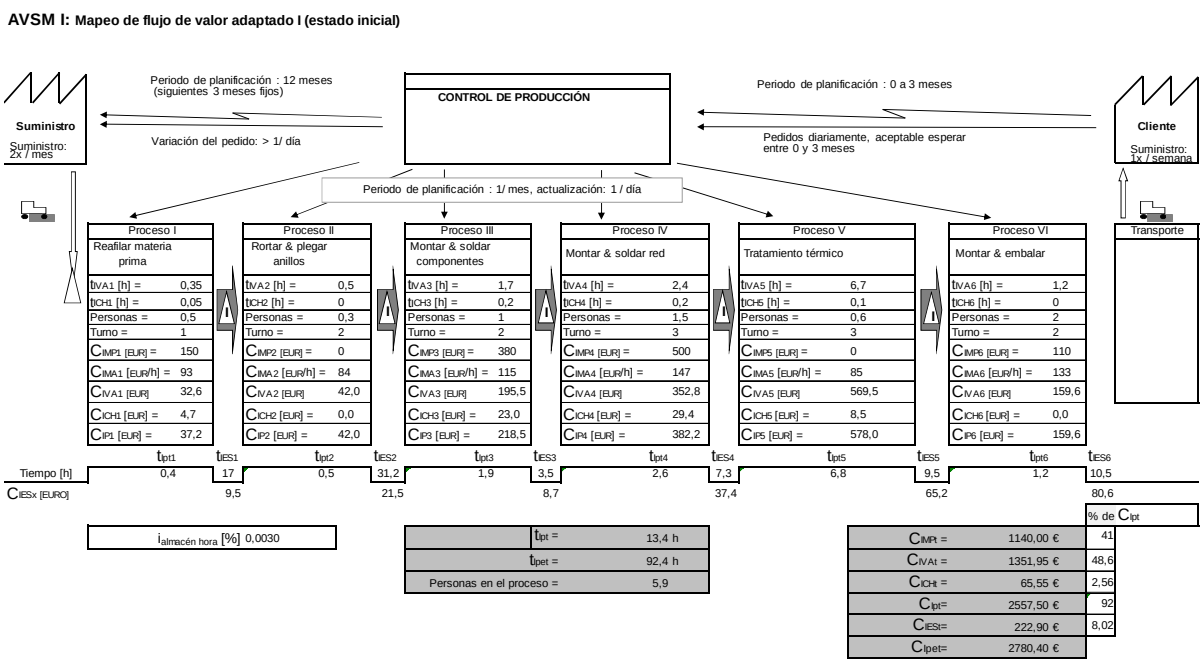


Figura 5.5. Fabricación en un mapeo de flujo de valor adaptado (AVSM)

El AVSM incluye los datos siguientes para cada fabricación.

- C_{IMPt} coste total de la materia prima
- C_{IVAt} coste total de los procesos de valor añadido
- C_{ICHt} coste total de los cambios de herramienta
- $C_{lpt} - C_{IESt}$ coste total de la fabricación sin espera
- C_{IESt} coste total de la espera
- C_{lpt} coste total de la fabricación con espera
- $t_{lpt} - t_{IESt}$ tiempo total de la fabricación sin espera
- t_{lpt} tiempo total de la fabricación con espera
- Personas en el proceso personas en la fabricación

Cada uno de los costes se relaciona, además, con el coste total de la fabricación con espera para poder evaluar en un instante su influencia (véase anexo M. y N.).

En el apartado siguiente se explica cada uno de los elementos del proceso sobre la base del AVSM. Antes de la investigación sobre cada elemento de un proceso en detalle se describe el coste por hora.

5.2.2. El coste por hora

El coste por hora describe el coste de un proceso durante un tiempo determinado. En este trabajo se utiliza como base la unidad de hora, así que se llama coste por hora.

En el primer apartado vamos a analizar y definir el coste por hora. Después se analizan las influencias y los efectos sobre el coste por hora. Al final del capítulo se presenta una propuesta de actuación.

5.2.2.1. Definición del coste por hora

La mejora continua no sólo pretende reducir los desperdicios sino también encontrar el camino más económico para la realización de un bien (Ohno, 1997). Para dicha realización es importante conocer el impacto del coste por hora. Dicho coste describe el coste por hora durante la realización dentro de un proceso. En el capítulo 4.1. se ha descrito el cálculo del coste por hora desde el punto de vista económico y financiero. En este capítulo se pretende seguir el análisis general con el objetivo de reconocer las influencias sobre la fabricación de un bien y su visibilidad en el método AVSM con PCT. Entonces vamos a describir cada uno de los costes de forma general y adaptada al uso de este método.

Dado que se suele aplicar el PECOTA con el AVSM y el PCT a diferentes procesos y situaciones industriales, el coste puede consistir de los siguientes elementos:

- coste del personal por hora
- coste de las máquinas y de las herramientas por hora
- coste del material usado para la realización del proceso.

A continuación se define cada uno de los posibles elementos del coste por hora anteriormente mencionados con más detalle.

Coste del personal por hora

El coste del personal por hora incluye todos los costes del personal que participa en el proceso. Esta definición no sólo incluye el personal directamente relacionado con el proceso sino también el personal que es necesario en los subprocesos o suministros para la realización de un proceso. Así pues, hay que incluir todo el personal necesario para realizar un proceso, aunque sea un proceso automatizado que requiera personal de guardia, personal para el suministro o personal para el mantenimiento.

El coste se suele elevar en cuanto se requiere personal más cualificado. Al simplificar los requerimientos de un puesto de trabajo, se suelen poder bajar los costes del personal (Däumler, K-D., 2004).

El coste incluye todos los costes del personal, los costes directos, como el salario, y los costes salariales adicionales. Dichos costes se elevan cuando hay que trabajar horas extras (Däumler, K-D., 2004).

Para definir este coste se debe analizar el personal directo e indirecto del proceso. Además hay que definir el tiempo que dicho personal está disponible para realizar el proceso. Este tiempo equivale al tiempo de trabajo efectivo. Es importante excluir el tiempo de bajas por enfermedad (sobre la base de un valor de promedio dentro de un periodo de tiempo definido), los descansos pagados y otros períodos no productivos de este tiempo.

Coste de las máquinas y de las herramientas por hora

Dado que el método desarrollado en este trabajo se limita al uso en una fabricación industrial, aquí se describe la aplicación a dicha área. En el caso de una aplicación a otra área industrial o de servicios, hay que adaptar los conceptos aquí descritos. De este modo, aquí se habla de maquinaria y herramientas en el sentido de cualquier equipo profesional necesario para la realización de un determinado

proceso en un puesto de trabajo. La definición incluye todo lo que se encuentra dentro de una nave en un puesto de trabajo. Lo único que se excluye es el coste de la infraestructura indirecta (como los edificios, grúas, tuberías o cualquier otro tipo de instalaciones comunes). El coste de una máquina se define por su coste al año sobre la base de la amortización de su coste inicial. De este modo, cuanto más barata sea la maquinaria o más tiempo permanezca en la empresa, más bajos son sus costes por hora. Además influye en dicho cálculo el coste de mantenimiento (Däumler, K-D., 2004).

Las herramientas pueden consistir de varios tipos diferentes para realizar un proceso. Ejemplos de herramientas pueden ser soportes de herramientas o herramientas de corte en una máquina-herramienta. Además hay máquinas de soporte o herramientas de soporte que se incluyen aquí en el término herramienta. Dichas máquinas de soporte pueden ser sistemas informáticos o pequeñas máquinas, como prensas y estampas. En cualquier caso hay que incluir todas las herramientas. En varios casos es difícil poner un valor exacto y será suficiente calcular con un valor basado en un estándar dentro de una empresa. En el caso de las herramientas utilizadas en un proceso se puede decir, a modo general, que cuantas menos herramientas se utilizan tanto más barato sale el proceso (suponiendo que el coste de las herramientas sea del mismo nivel).

Para el cálculo de dicho coste se utiliza la amortización del coste inicial de la maquinaria y de las herramientas. Según el tiempo de la amortización, los costes también se pueden calcular directamente partiendo del coste de adquisición (Däumler, K-D., 2004). Especialmente en el caso de las herramientas, se suelen utilizar directamente los costes de las herramientas gastadas por el proceso. Para simplificar el cálculo para el PECOTA se pueden estimar los costes por hora también utilizando tablas de comparaciones comunes (como la tabla de coste por hora de Eurostat (Eurostat, 2011).

Coste del material usado para la realización del proceso

El material que se utiliza para la realización de un proceso puede formar un coste respetable. Dicho material consiste de dos clases.

Primero destaca el material que se utiliza para el funcionamiento correcto de las máquinas y de las herramientas utilizadas. Como ejemplos para dichos costes se puede mencionar la energía utilizada (energía eléctrica, por gas o aire a presión), refrigerantes, medios de protección o de suspensión, entre otros.

Por otro lado hay también material que se utiliza para el funcionamiento correcto del producto. Se trata de “materia prima”, ya que forma parte del producto final. Esta materia prima no se suele declarar como tal, dado que su valor suele ser más pequeño y la asignación al producto más difícil. Ejemplos para dicho material pueden ser medios de protección, embalajes, grasas o lubricantes, entre otros.
De forma parecida a los costes de las máquinas y de las herramientas por hora, se calcula en base al consumo durante un determinado tiempo (por ejemplo, sobre la base del consumo anual).

5.2.2.2. El coste por hora en el perfil coste y tiempo

La descripción del coste por hora del apartado anterior describe un coste por hora que depende no sólo del proceso en sí sino también de la empresa y su entorno en general. Además suelen variar los costes por hora, lo que hace necesario un análisis previo a la mejora para centrarse en lo más importante.

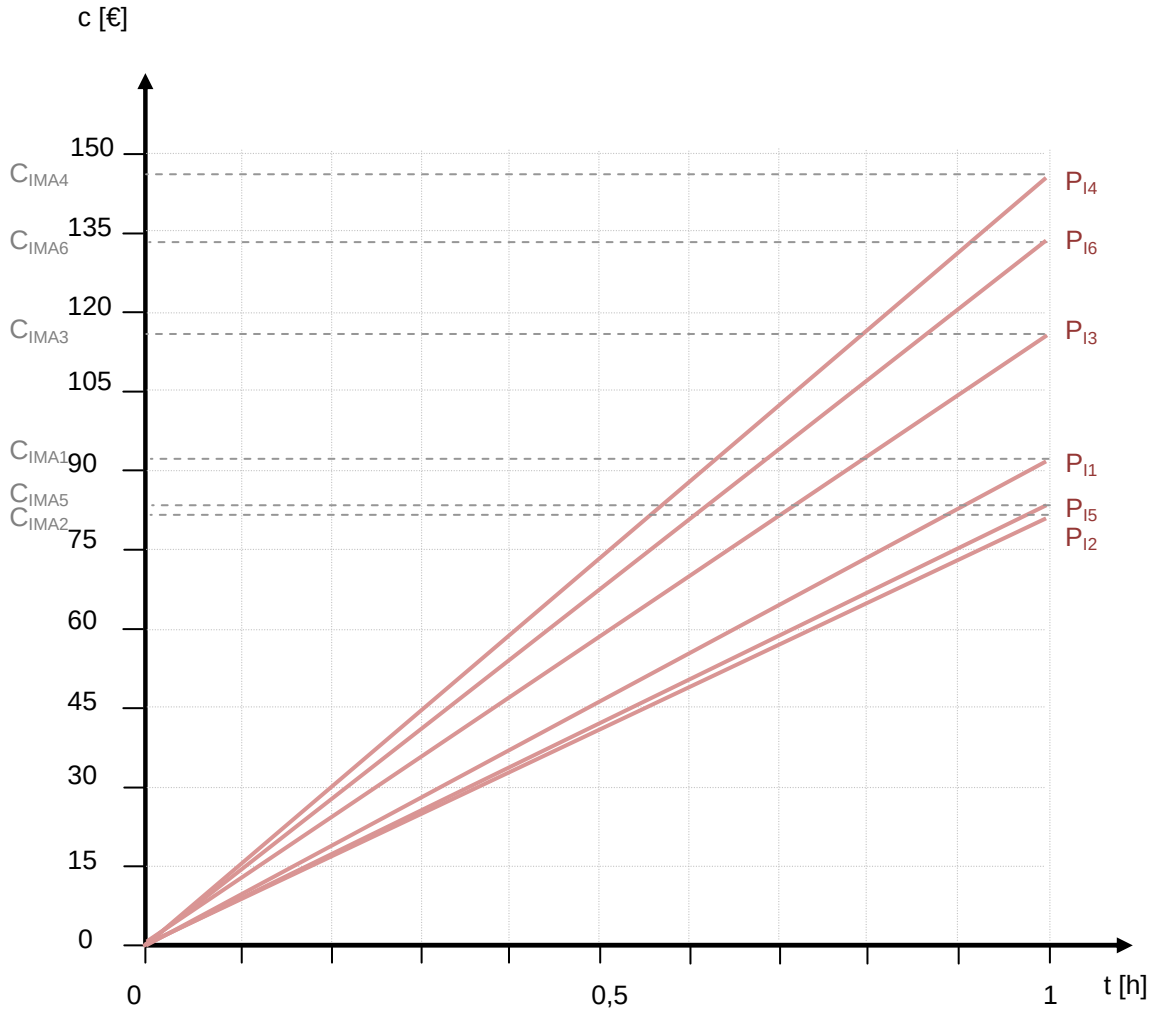
Partiendo del caso práctico descrito en este trabajo, vamos a analizar en el apartado siguiente la evolución y el impacto que puede tener el coste por hora. En la figura 5.6. se pueden observar los costes por hora de los procesos uno, dos y tres del estado inicial del AVSM del caso práctico.

Proceso I			Proceso II			Proceso III	
refilar materia prima			cortar & plegar anillos			montar & soldar componentes	
t_{IVA1} [h] =	0,35		t_{IVA2} [h] =	0,5		t_{IVA3} [h] =	1,7
t_{ICH1} [h] =	0,05		t_{ICH2} [h] =	0		t_{ICH3} [h] =	0,2
Personas =	0,5		Personas =	0,3		Personas =	1
Turno =	1		Turno =	2		Turno =	2
C_{IMP1} [EUR] =	150		C_{IMP2} [EUR] =	0		C_{IMP3} [EUR] =	380
C_{IMA1} [EUR/h] =	93		C_{IMA2} [EUR/h] =	84		C_{IMA3} [EUR/h] =	115
C_{IVA1} [EUR]	32,6		C_{IVA2} [EUR]	42,0		C_{IVA3} [EUR]	195,5
C_{ICH1} [EUR] =	4,7		C_{ICH2} [EUR] =	0,0		C_{ICH3} [EUR] =	23,0
C_{IP1} [EUR] =	37,2		C_{IP2} [EUR] =	42,0		C_{IP3} [EUR] =	218,5

Figura 5.6. Coste por hora en el AVSM

Como se puede observar en la figura 5.6., el coste por hora varía considerablemente de un proceso a otro. En el caso práctico el proceso 2 es el más barato y el coste del proceso 3 el más caro. El coste del proceso 3 es un 37% más elevado respecto al coste del proceso 2, lo que demuestra que el impacto por la diferencia del nivel de coste puede considerarse importante.

El coste por hora de un proceso, una vez determinado en el AVSM, es uno de los valores más importantes para el análisis de un proceso. En el PCT de un AVSM se puede observar su impacto fácilmente. Dado que el coste por hora es la pendiente de las curvas de los procesos, el coste por hora tiene una influencia muy grande sobre la evaluación de procesos. Según la mejora continua se debe realizar sólo los procesos necesarios para obtener un bien cumpliendo de los requerimientos del cliente (Liker, J.U., 2007). Si suponemos dos procesos para la realización de un bien con costes por hora de dos diferentes niveles y el tiempo necesario igual para ambos procesos, el proceso con costes menores representará una ventaja significativa. Ese incremento de productividad puede formar parte de una situación más competitiva. Como se ha descrito anteriormente, en el PCT del PECOTA se refleja el coste por hora en la pendiente de la curva. Si se ponen todas las curvas de los procesos del PCT I sobre el mismo punto cero inicial y el mismo tiempo (una hora), se obtiene la figura 5.7. Esta figura representa el PCT normalizado para el estado inicial del caso práctico.



Leyenda

P_{Ix} proceso x del estado inicial

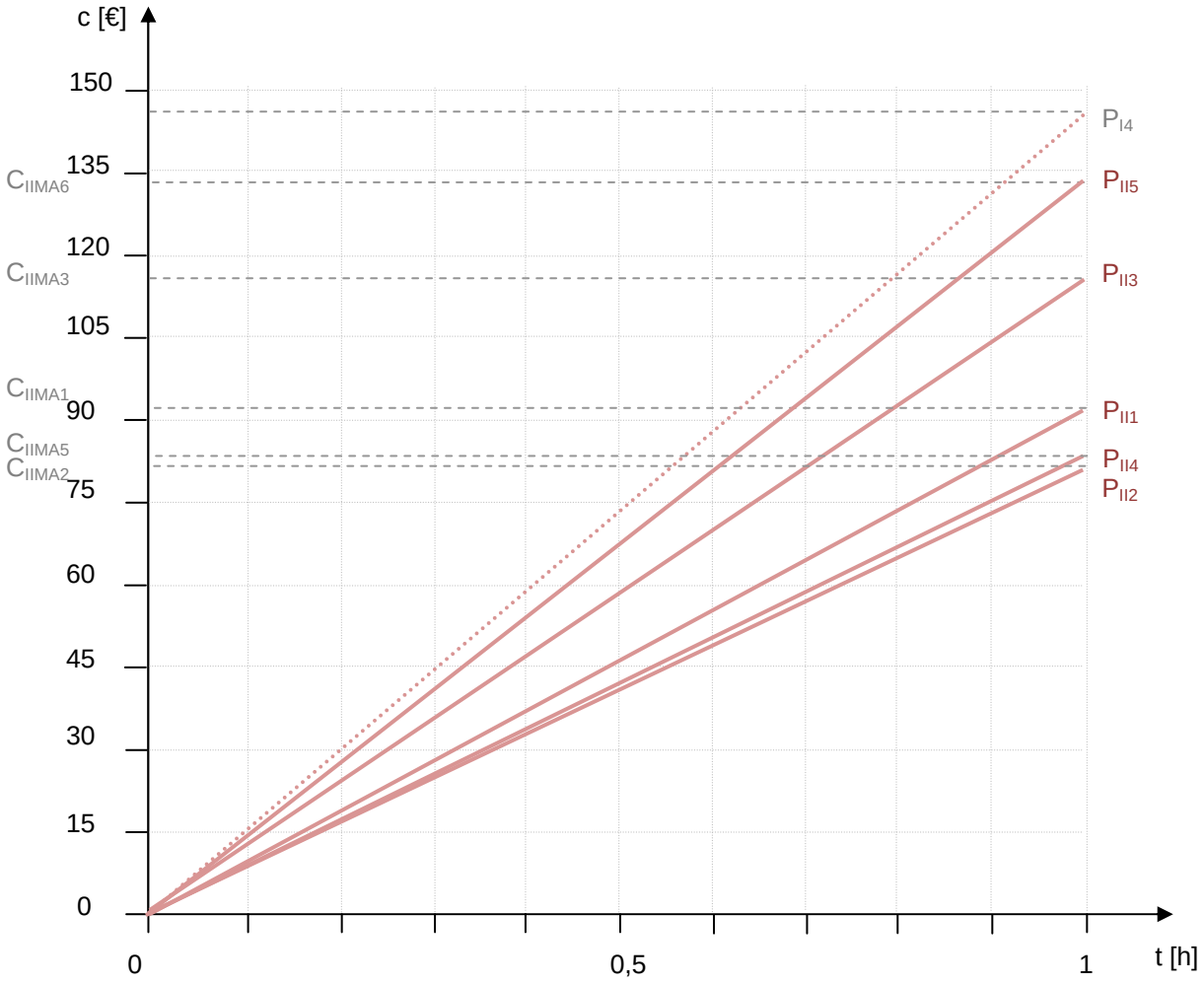
C_{IMAx} coste por hora del puesto de trabajo para realizar el proceso x del estado inicial

Coste por hora del puesto de trabajo del proceso x del PCT I	**C_{IMA1}**	**C_{IMA2}**	**C_{IMA3}**	**C_{IMA4}**	**C_{IMA5}**	**C_{IMA6}**
[€ / h]	93	84	115	147	85	133

Figura 5.7. Coste por una hora en el PCT I

En la figura 5.7. se puede observar la diferencia de los costes por hora entre los diferentes procesos. Además se ve que el valor del coste por hora no tiene que ver con el orden de los procesos. Puesto que en este trabajo se elabora un método visual, es importante que en el gráfico de la figura 5.7. la diferencia del coste por hora equivalga a la pendiente de la curva. De esa manera se puede realizar una evaluación cualitativa por las diferentes pendientes en un instante.

En la figura 5.8. se pueden observar los costes por una hora en los puestos de trabajo después del evento de mejora continua (estado final).



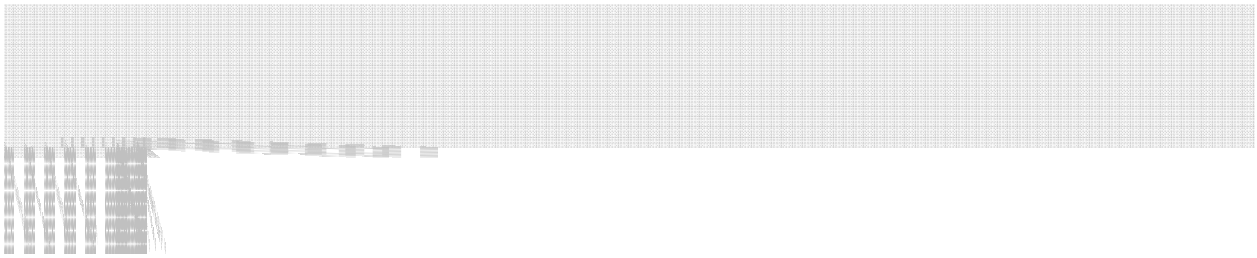
Leyenda

P_{Ix} proceso x del estado inicial
P_{IIx} proceso x del estado final
C_{IIMAx} coste por hora del puesto de trabajo para realizar el proceso x del estado final

Coste por hora del puesto del trabajo del proceso x del PCT II	**C_{IIMA1}**	**C_{IIMA2}**	**C_{IIMA3}**	**C_{IIMA4}**	**C_{IIMA5}**
[€ / h]	93	84	115	85	133

Figura 5.8. Coste por una hora del PCT II

En la figura 5.8. se muestran no sólo los procesos del estado final sino también el proceso 4 del estado inicial. Como se puede observar en la figura 5.8., se ha eliminado durante el evento de mejora continua el proceso más caro del estado inicial (P_{I4}). La reducción de los costes por hora de un 22% por el reemplazamiento



Para poder realizar una optimización del coste para un determinado puesto de trabajo es imprescindible entender bien los factores de influencia. En el apartado siguiente se describen posibles propuestas de actuación para un análisis efectivo de cada uno de los costes. Cada una de las recomendaciones sirve para una reducción de los costes por hora, lo que no tiene que ser igual a una reducción de los costes de un bien (dado que el coste del proceso industrial de un bien se define por el coste por hora y el tiempo necesario para la realización de un proceso). Además, hay que tener en cuenta que se trata de propuestas individuales y, por lo tanto, algunas propuestas pueden ser opuestas y servir sólo para optimizar un elemento dentro del coste por hora.

Las observaciones y recomendaciones son las siguientes.

Optimización de los costes del personal:

- Menos personal directo: optimización de la productividad, optimizar el número de bajas por enfermedad
- Menos personal indirecto
- Procesos más simples (visualización) → menos coste (Moraes, 2003)
- Trabajo sin horas extras

Optimización de los costes de la maquinaria y las herramientas

- Maquinaria y herramientas más baratas
- Cuantas menos se empleen, tanto más barato será el proceso
- Cuanto menos caras sean las piezas de repuesto, menos caro sea el mantenimiento y menos herramientas sean necesarias (herramientas más duraderas), tanto más bajos serán los costes del proceso

Optimización de los costes del material usado para la realización del proceso

- Menos costes de funcionamiento (maquinas más eficientes)
- Material de soporte más eficiente (al coste menor o igual)

Mediante las recomendaciones de tipo general vamos a entrar en la descripción y el análisis de los elementos del proceso de fabricación industrial.

5.2.3. Los elementos de un proceso y su influencia sobre el proceso total

En este capítulo se define cada uno de estos elementos más exactamente y se elabora su influencia sobre el proceso total. Al final se definen índices, sobre la base de los cuales se desarrollan unas propuestas de actuación para mejorar el proceso industrial.

El elemento de la materia prima representa una excepción dentro de los elementos de un proceso definido en este trabajo. La materia prima como elemento representa cualquier tipo de materia prima añadida durante el proceso. Al cambiar un proceso de tal forma que se cambia el producto o la manera de fabricación, se cambia también el valor de la materia prima añadida. En este trabajo se pretende elaborar un método para los usuarios definidos, por lo que no queremos entrar en el tema de la compra de materia prima. Si, además, consideramos el capítulo 2, queremos ayudar en la aplicación de la mejora continua y no en la innovación. Por eso se representa la materia prima en el gráfico del método, que muestra la

influencia de la misma pero se limita a su análisis y evaluación. Aún así, en el caso de una aplicación en concreto, puede ser de gran interés para los usuarios.

En el apartado siguiente empezamos la investigación sobre el elemento de la espera.

5.2.3.1. El tiempo de espera

Según el capítulo 2, el tiempo de espera está definido como un desperdicio dentro de la mejora continua. Dado que durante la espera no se añade valor a la pieza para el cliente final, se trata de un proceso que incrementa el coste del producto sin incrementar su valor (Ohno, 1997). A continuación se va a evaluar la influencia de la espera sobre el tiempo y los costes de un proceso.

El elemento de tiempo de espera definido en este trabajo incluye todo el tiempo que los productos acabados o semiacabados están en estado de espera (desde el primer proceso hasta el producto final, esperando la entrega al cliente). La causa de dicho tiempo es la existencia de un tiempo de espera entre un proceso y otro. Debido, por ejemplo, al proceso o a la capacidad de los diferentes puestos de trabajo, se puede diferenciar la espera por diferentes causas (Hanashiro, A., 2003):

- El transporte entre un proceso y otro: debido, por ejemplo, a una localización de diferentes puestos de trabajo en una nave o a la fabricación de una pieza en diferentes lugares.
- El almacén entre diferentes procesos: debido, por ejemplo, a la planificación de productos en diferentes niveles de acabado, para poder mantener una cierta flexibilidad y producir diferentes tipos de un producto o a las diferencias en la capacidad de diversos puestos de trabajos en una línea de fabricac361(n)-4.32873(c)-

unrn líddla
deirapr(u)-4.32995(u)-4.33117(c)-0.2955 un de unebretiode7(r)2.80561(o)-4.3311(t)-2.165
2(p)-4.3311á(r)2.80439(o)-4.33117((n)-4.33117(t)-2.1( )-2.16558(c)9.710325(o64.33111( )-2.13311(n)-4.3311c)-0

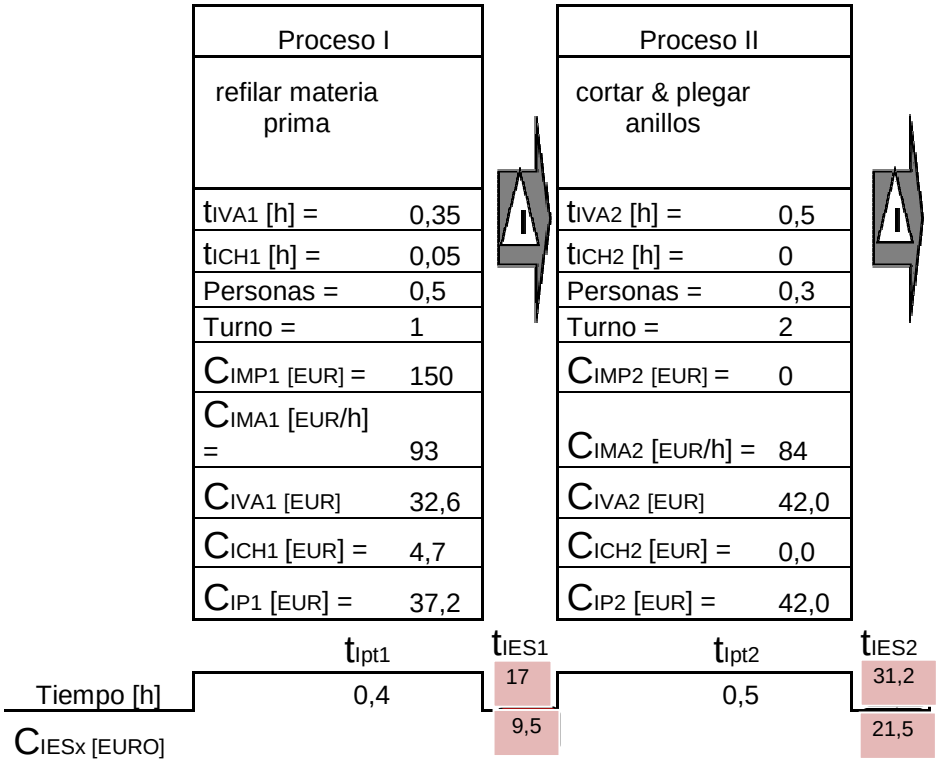


Figura 5.9. El AVSM de los procesos I y II en el estado inicial

Los datos del AVSM anterior se refieren al estado inicial. Antes de la realización de un evento de mejora continua había tiempos de espera de 17 horas después del primer proceso y de más de 31 horas después del segundo proceso. Como se puede ver en el gráfico, partiendo de los tiempos de espera se han podido calcular los costes correspondientes. Dicho cálculo se define en el apartado siguiente.

El coste de la espera

Para poder calcular el coste real de un proceso industrial es importante incluir en su cálculo no sólo los costes directos de su ejecución sino también el coste de la espera. Aunque dichos costes pueden variar para cada aplicación (ya sea un proceso único o un conjunto de procesos; ya sea en una línea de fabricación única u otro tipo de procesamiento), sus efectos e influencias permanecen similares. Para poder calcular un coste de espera (C_{ES}), tenemos que determinar un interés por hora de espera.

Para poder establecer un interés medio por hora de espera hay que definir un interés por el valor del almacén al año. Dicho interés está fijado en el sistema financiero de cualquier empresa y se orienta por el interés actual que paga una empresa para su financiación (Wirtschaftslexikon24, 2011). Actualmente se fija dicho interés en Europa para una empresa de tamaño medio en un 7% al año (Deutsche Bank, 2011). Para el cálculo del interés se supone un año con 220 días laborales y 10 horas al día laboral (para todos los procesos de una planta industrial donde no se suele trabajar más de un turno en el mayor parte de los puestos de trabajo, véase figura 4.1.). Mediante estos datos llegamos al interés por hora de la espera ($i_{almacén\ hora}$):

$$i_{almacén\ hora} = 7\%/220/10 = 0{,}003\%\ \text{por hora}$$

Este valor calculado aquí se puede utilizar como referencia para el AVSM de un proceso industrial. En el anexo M. y N. de los AVSM del estado inicial y final del caso práctico se encuentra dicho interés.

Mediante este interés se pueden calcular los costes de espera (C_{ES}) conforme a la formula siguiente.

$$C_{ES} = T_{ES} \times i_{almacén\ hora} \times C_{bien\ actual}$$

En el cálculo anterior se introduce como tiempo de espera (T_{ES}) el tiempo medido durante el evento de mejora continua que el bien (semiacabado y acabado) está en estado de espera antes de entrar en el procesamiento del siguiente proceso. Se incluye en este tiempo también el tiempo de transporte y logística internos. Como coste del bien actual ($C_{bien\ actual}$) se introduce el coste acumulado del bien hasta el momento del inicio de la espera. En el apartado siguiente se pueden encontrar más detalles sobre dicho nivel de coste.

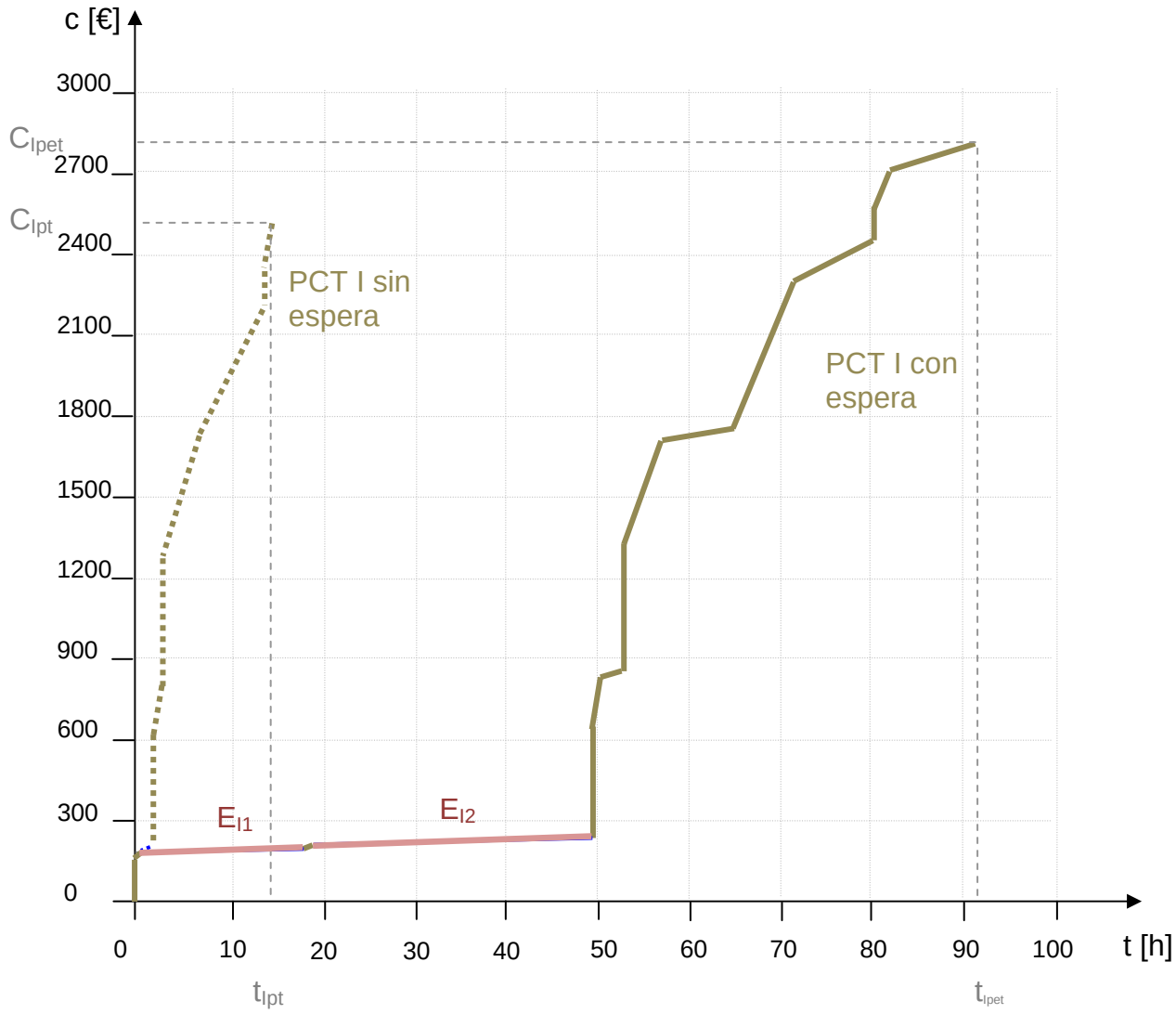
La espera en el PCT

Siguiendo el método de este trabajo se llega a la curva del perfil coste y tiempo (PCT) de los procesos. La figura 5.10. muestra el PCT del caso práctico antes del evento de mejora continua. En la figura se encuentra la curva de la fabricación sin y con la espera. En la curva de la fabricación con espera están marcadas en rojo las esperas después del proceso uno (E_{l1}) y dos (E_{l2}).

Se puede observar la gran diferencia tanto en los tiempos como en los costes cuando se incluye también la espera en el análisis. En el gráfico se define el tiempo total de la fabricación sin espera del proceso antes del evento de mejora continua como t_{lt}. Dicho tiempo es de 13,4 horas. Incluyendo el tiempo de espera en el análisis, se llega al tiempo total de la fabricación con espera del proceso antes del evento de mejora continua t_{let}. Dicho tiempo es de 92,4 horas. Esa diferencia entre los dos valores de los tiempos totales de la fabricación significa que, al incluir la espera en el análisis, se prolonga la fabricación del bien multiplicándose casi por siete.

Como se puede observar en la figura 5.10., al incrementar el tiempo se incrementa también el coste total. El coste total de la fabricación sin espera antes del evento de mejora continua (C_{lpt}) es de 2557,5 €. Este coste se eleva, en cuanto se incluye la espera, a unos 2780,4 € (coste total la fabricación sin espera, C_{lept}). El coste se incrementa casi un 9 % por el coste de la espera total, que es de más de 200 Euros (C_{ESt}= 222,9 €).

La diferencia entre la elevación de los valores de los tiempos y de los costes se debe a su manera de calcular el valor correspondiente. El tiempo adicional por la espera se suma directamente al valor de tiempo. Por otro lado se calcula el coste de la espera, como se ha descrito en el apartado anterior, mediante el interés por hora de espera sobre el valor (de coste) acumulado del bien. Dado que el interés por hora está fijado en el caso práctico en un 0,003%, los costes suben menos en relación a los tiempos. En el momento en el que se analiza el coste total, se puede ver que se podría disminuir en este caso el coste del producto casi en un 9%, simplemente eliminando la espera dentro de su proceso de fabricación.



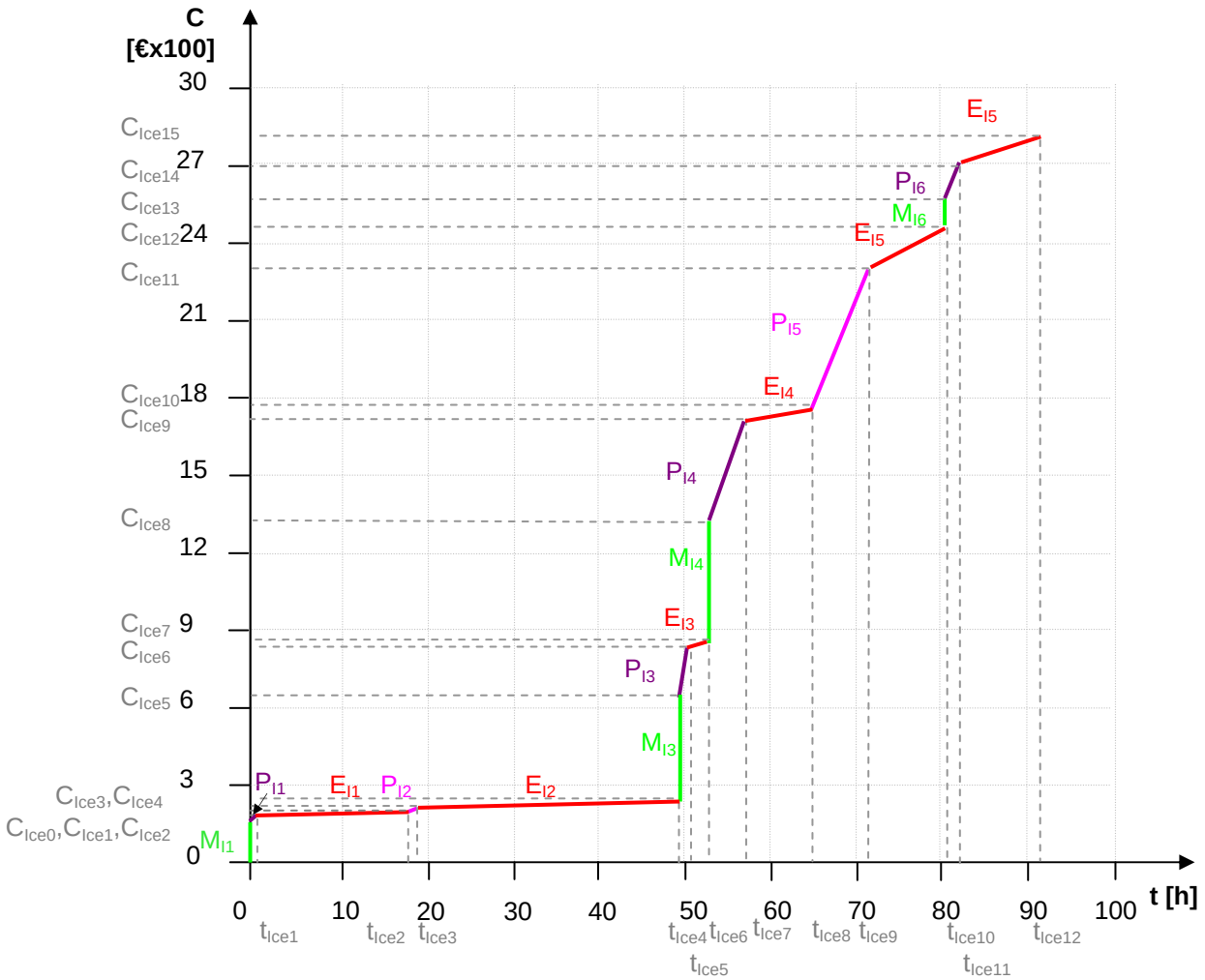
Leyenda:

t_{lpt}	tiempo de la fabricación sin espera del estado inicial
t_{lpet}	tiempo de la fabricación con espera del estado inicial
C_{lt}	coste de la fabricación sin espera del estado inicial
C_{let}	coste de la fabricación con espera del estado inicial
E_{l1}	espera después del proceso uno del estado inicial
E_{l2}	espera después del proceso dos del estado inicial

Figura 5.10. PCT I con y sin espera en situación inicial

Ahora vamos a analizar la curva con más detalle. En la figura 5.11. se puede ver el perfil de coste y tiempo (PCT) antes del evento de mejora continua con espera más detalladamente.

Los costes (numerados con C_{lex}) y los tiempos (numerados con t_{lex}) están descritos (incluyendo sus valores originales) en el anexo O. Dado que se trata de una análisis del concepto, no se describen los valores exactos en detalle.



Leyenda:

La descripción y los valores detallados de los costes y tiempos de la figura se encuentran en el anexo O.

Figura 5.11. PCT I antes del evento de mejora continua con espera con más detalle

En la figura 5.11. están indicados todos los costes y tiempos para todos los procesos de fabricación antes del evento de mejora continua con espera. Se trata de diferentes estados del bien dentro de cada proceso (al principio, al haber añadido la materia prima, al haber terminado el proceso de valor y después de la espera). Además se han indicado los procesos (P_{Ix}: proceso x del PCT I, que incluye el proceso de valor añadido y el cambio de herramienta), las materias primas (M_{Ix}: materia prima añadida durante el proceso x del PCT I) y las esperas (E_{Ix}: espera al terminar el proceso x del PCT I).

Como se ha mencionado anteriormente, en el anexo O. se encuentran no sólo los datos correspondientes de todos los costes y tiempos, sino también su detallada descripción. Además están indicados todos los niveles de los costes de los elementos de espera y sus tiempos correspondientes.

Para poder analizar las esperas de E_{I1} hasta E_{I6} mejora del PCT I, simplificamos la figura 5.11. y llegamos al siguiente gráfico, mostrado en la figura 5.12.

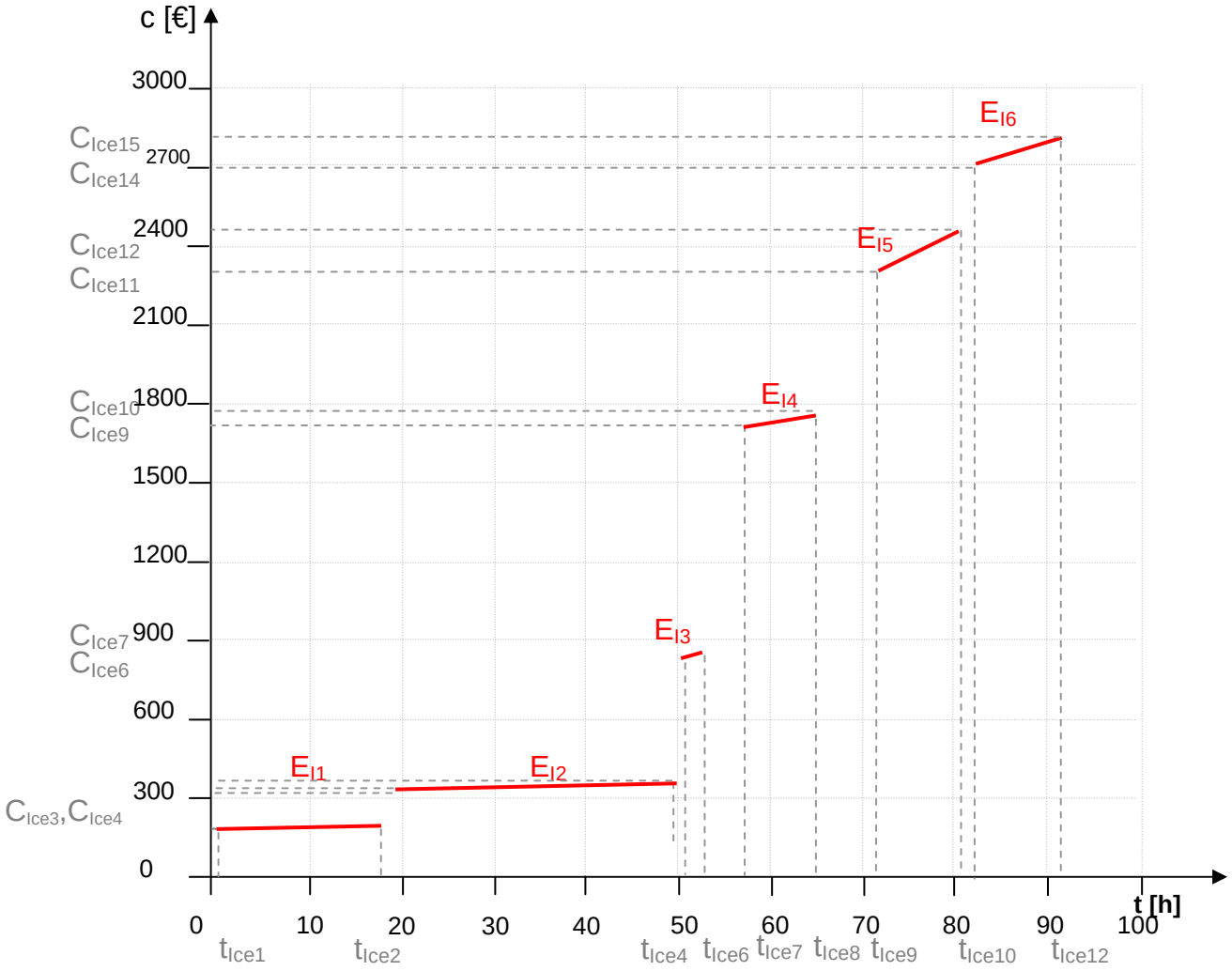


Figura 5.12. PCT I de las esperas

La figura 5.12. muestra que, al incluir la espera en el análisis, la mayor parte del tiempo total de la fabricación del bien se debe al elemento de la espera. Dado que el coste de espera se calcula sobre el valor acumulado hasta el momento de la espera (en este caso el coste acumulado por los procesos anteriores), la pendiente de la curva E_{IX} (la curva de la espera del PCT I) se incrementa de proceso a proceso con el avance de la fabricación del bien. Para demostrar este efecto mejor, se pueden extraer las curvas de las esperas E_{I1} hasta E_{I6} de la figura 5.12. y recolocarlas en un gráfico nuevo. Al traspasar las curvas, se las normaliza para una análisis mejor, lo que significa que todas las curvas salen del mismo punto de inicio y que el tiempo para todas las curvas es igual. Al normalizar las curvas de las esperas se pueden observar las diferencias de sus pendientes. Eso significa que la pendiente de la curva se eleva, cuanto más avanzado está el bien en la fabricación. En el caso práctico se puede ver que la espera del proceso 6 tiene una pendiente considerablemente mayor en comparación con la pendiente de los demás procesos anteriores. En la figura 5.13. se encuentra el resultado en el que cada curva está identificada con el índice que le corresponde.

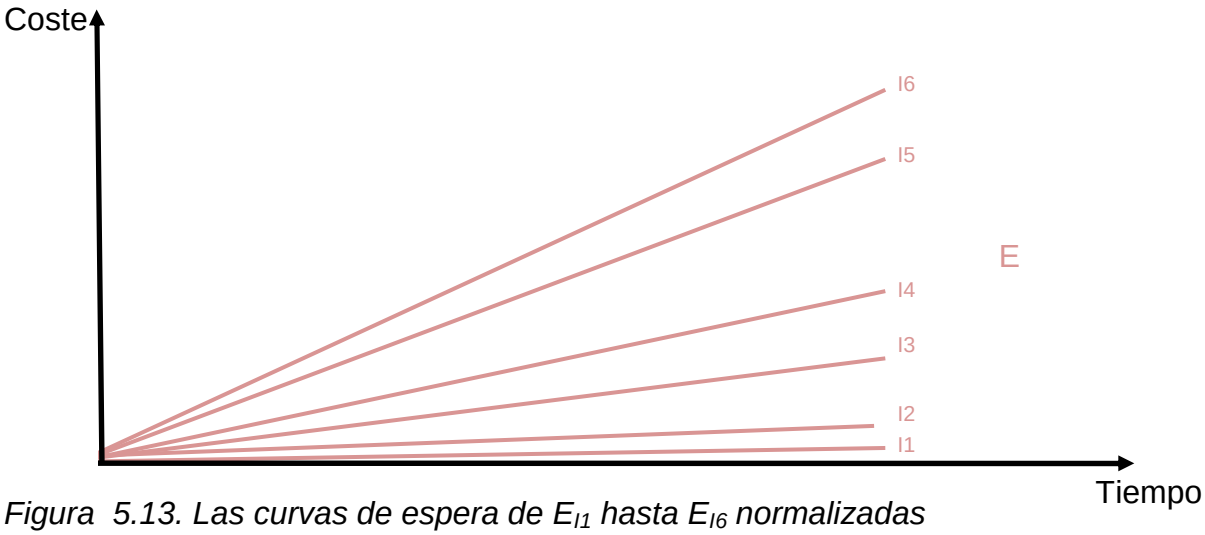


Figura 5.13. Las curvas de espera de E_{I1} hasta E_{I6} normalizadas

En la figura 5.13. se puede observar que la pendiente se incrementa desde E_{I1} hasta E_{I6} cada vez más. Debido a que cada proceso en el caso práctico aquí descrito añade coste al bien, la base del cálculo para el coste de espera se eleva de proceso en proceso. La razón de este hecho radica en que cuanto más avanzado está el bien, más coste se ha invertido en su fabricación y, por lo tanto, más cara es la espera. Resumiendo este análisis se puede destacar que la espera es más cara, cuanto más avanzado se encuentra el bien. Según la mejora continua (véase capítulo 2), la espera es un desperdicio que hay que eliminar. Además se describe que la espera de productos semiacabados y acabados se debe reducir al mínimo. Ahora se puede añadir que la eliminación de la espera es aún más importante, cuanto más avanzada esté la fabricación del bien.

Para complementar la argumentación, en la figura 5.14. se encuentra el gráfico de la figura 5.10., que corresponde a la situación al final del evento de mejora continua del caso práctico.

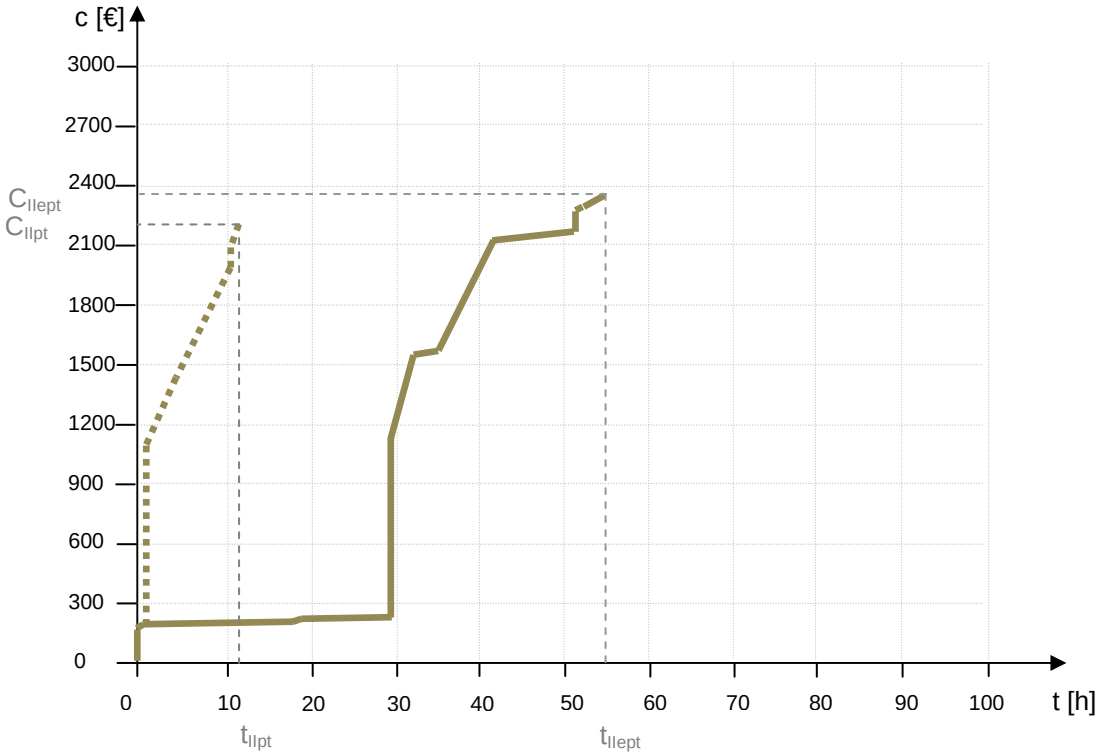


Figura 5.14. PCT II con y sin espera en situación final

El tiempo total de la fabricación sin espera del PCT II (t_{IIpt}) es de 11,9 horas, y el tiempo total de la fabricación con espera del PCT II (t_{IIept}) es de 54,5 horas. En este caso, el tiempo se multiplica por 4,6 de un estado al siguiente. Comparando con los resultados del PCT I, se puede observar no sólo una disminución de los valores de los tiempos absolutos sino también una considerable disminución de la relación del tiempo total de fabricación con y sin espera. Este resultado demuestra que el tiempo de espera se ha reducido más que el tiempo de los procesos.

Respecto a los costes de la fabricación, se fija el coste total de la fabricación sin espera del PCT II (C_{IIet}) en 2273,2 €. Incluyendo la espera se llega al coste total de la fabricación con espera del PCT II (C_{IIept}) de 2352,8 €. El coste de espera total de toda la fabricación del bien C_{ESt} es de sólo 77,9 €, lo que equivale a una reducción de un 65% respecto al estado inicial. Al cambiar y mejorar la fabricación del bien se ha podido realizar una reducción de la espera que no sólo se refleja en una reducción importante en el tiempo total de fabricación sino también en una reducción del coste total. Esa diferencia no se suele tener en cuenta en los análisis de la literatura, aunque la reducción del coste de fabricación de un 5% (como en el caso práctico) no es fácil de conseguir de cualquier caso y puede significar una gran ventaja en el mercado. El coste total de la espera durante la fabricación en el caso práctico C_{ESt} corresponde, después del evento de mejora continua, a un 3,3% del coste total de la fabricación.

La finalidad del método aquí desarrollado es el análisis rápido de los efectos de cambios debidos a un evento de mejora continua. Como se ha descrito anteriormente, la mejora continua reconoce la necesidad de la reducción o eliminación de la espera (Ohno, 1997). Cabe esperar entonces de cualquier evento de mejora continua que sea capaz de mejorar la espera. Una función importante del método PECOTA es demostrar y visualizar este cambio de una forma que todos los usuarios descritos en el capítulo 5.1.1.1. puedan sacar dicha información fácilmente mediante interpretación del gráfico. En el caso práctico aquí descrito se ha podido reducir la espera considerablemente. En la figura 5.15 se han dibujado las dos curvas de los dos estados (el estado inicial en azul y el estado final en verde) en el mismo gráfico. Para cada uno de los estados se ha dibujado la curva con y sin espera. Dado que en el caso práctico se diferencian los dos estado de la fabricación del bien a partir del proceso tres, se ha dibujado sólo una curva (en azul) para los dos estados hasta el proceso tres.

En la figura 5.15. se puede ver que el PECOTA muestra, sin la necesidad de calcular o conocer más los detalles, los valores exactos siguientes:

- la gran influencia del elemento de espera sobre el tiempo total de la fabricación
- la mejora lograda durante el evento de mejora continua
- la reducción de la importancia absoluta de la espera sobre el proceso
- la reducción del coste total de la fabricación debido a la reducción de la espera.

En la figura 5.15. se puede ver en un instante que la espera sigue siendo en ambos casos el elemento predominante respecto al tiempo total de la fabricación del bien del caso práctico. De cara a futuras finalidades de nuevos eventos de Kaizen, la curva del PCT del PECOTA no deja ninguna duda respecto a que la espera representa el mayor potencial durante los procesos para conseguir una posible reducción del tiempo de fabricación total del bien. Sin necesidad de tener que conocer los datos exactos, se llega a las conclusiones importantes.

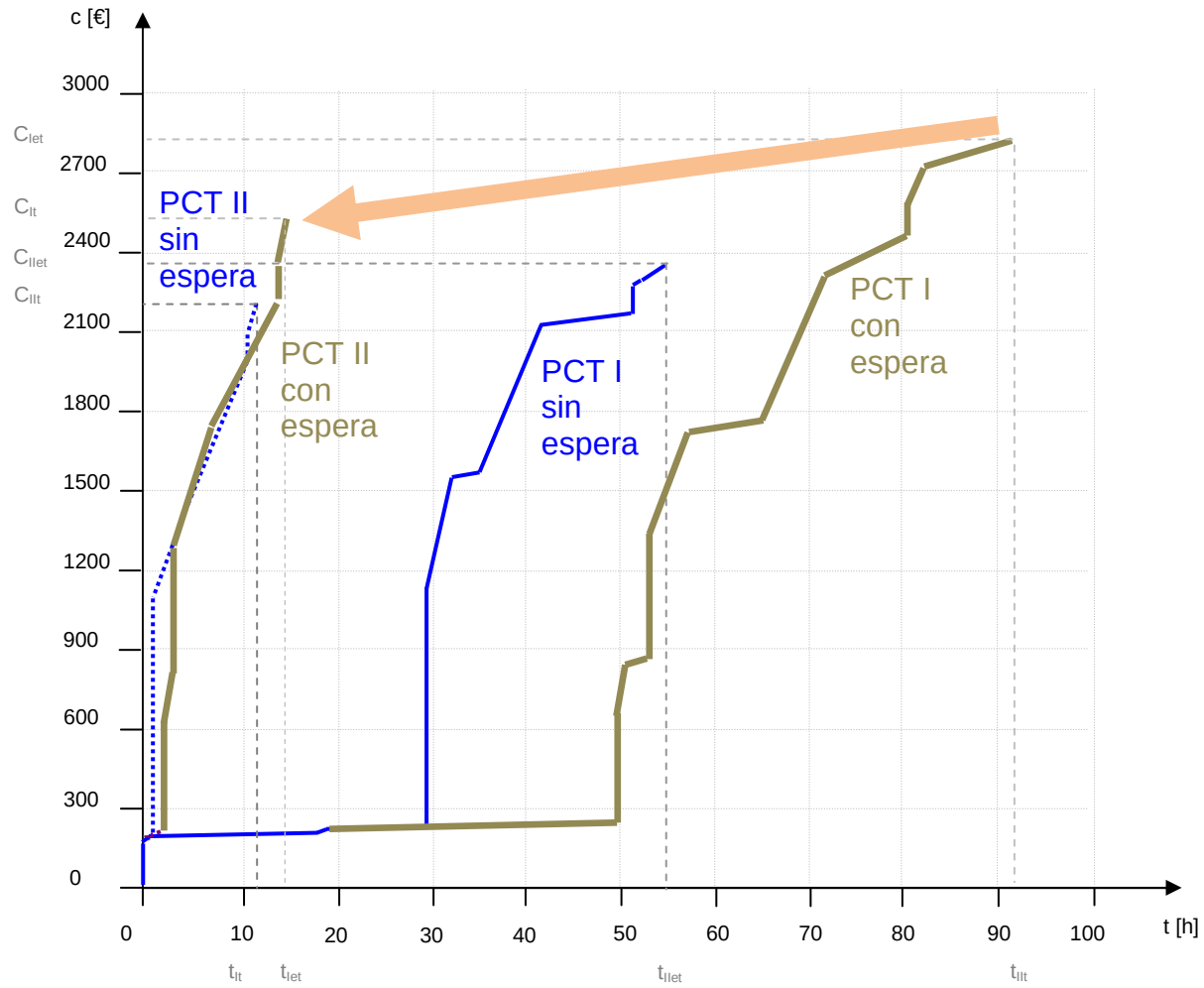


Figura 5.15. Comparación del PCT I con el PCT II con y sin espera

Mediante la elaboración del PECOTA y sus posibilidades de mostrar y demostrar el elemento de la espera se puede deducir una propuesta de actuación para la mejora de cualquier fabricación de un bien industrial.

Propuesta de actuación contra la espera

En base al análisis y a la evaluación mediante el PCT del PECOTA se han podido elaborar ciertas propuestas de actuación contra la espera. Primero se establecerán unos consejos generales respecto a la espera y después se definirán los conceptos, las técnicas, las herramientas y los métodos de Kaizen adecuados de la mejora continua del capítulo 2 para minimizar y optimizar los efectos de la espera.

En base al análisis se puede establecer la siguiente definición:

La espera

- Siempre hay que eliminar/reducirla al mínimo.
- Cuando sea necesaria: mejor al principio del proceso (bajo coste del bien gracias a ningún proceso anterior/pocos procesos anteriores) y peor al final del proceso (producto acabado)
- En general se puede calcular el coste de la espera al multiplicar el tiempo de espera por el interés del 0,003 % por hora multiplicado por el valor del coste añadido

Hay que establecer también una referencia para poder evaluar la espera detectada en una fabricación industrial. Sobre la base de varios eventos de Kaizen de KPC (KPC, 2008) en el sector industrial de Alemania, en este trabajo se fijan los índices siguientes respecto a la espera:

- Índice $i_{ces\ pt}$: Relación entre el coste por la espera total y el coste total de la fabricación del producto

$$\mathbf{i_{ces\ Pet} < 5\%}$$

Con $i_{ces\ Pet} = C_{ESt} / C_{ET}$

C_{ESt} coste de la espera total durante la fabricación
C_{ET} coste de la fabricación total con espera

- Índice i_{tESpt}: Relación entre el tiempo de espera de la fabricación total y el tiempo total de la fabricación del bien

$$\mathbf{i_{tES} < 50\%}$$

Con $i_{tES} = t_{ESt} / t_{et}$

t_{ESt} tiempo de la espera total durante la fabricación
t_{et} tiempo de la fabricación total con espera

Las recomendaciones forman parte del análisis y de la evaluación del apartado anterior.

El índice del coste de la espera $i_{Ces\ Pet}$ representa la influencia de los costes de la espera durante toda la fabricación en relación a los costes de la fabricación total con espera. Si volvemos al caso práctico, se puede ver que el límite debería ser de un 5%. Cuanto más elevado se encuentre el índice, probablemente más se debe reducir la espera al final del proceso.

Por otro lado se encuentra el índice I_{tES}, que representa la influencia de la espera sobre el tiempo de la fabricación. Como se puede observar en el apartado anterior, la espera siempre forma la mayor parte del proceso respecto al tiempo. Cuando se lograse un índice I_{tES} de alrededor de un 50%, se debería llegar a una elevada productividad.

De todos modos, los dos índices anteriormente descritos hay que adaptarlos a cada estado de empresa y a su respectiva fabricación. Los valores aquí presentados suelen tener carácter orientativo. Además dependen también de la industria en la que se los aplica. Los índices $i_{ces\ Pet}$ y i_{tES} son relaciones de evaluación. Los valores fijados representan resultados encontrados por el autor en varias aplicaciones y comparaciones en un sector industrial determinado. No hay ninguna duda de que estos valores se deberán verificar e investigar aún más en futuras investigaciones.

Para cualquier empresa es importante tener puntos de referencia para poder evaluar la situación competitiva actual de su fabricación industrial. Hay industrias, como el sector automovilístico, donde se trabaja muy abiertamente con comparaciones entre las diferentes empresas. No sólo los fabricantes de los

automóviles sino también varios de los proveedores conocen bien los procesos y los indicadores de su competencia. Por otro lado existen también varios sectores industriales menos competitivos o abiertos. Para todos estos últimos sectores los índices desarrollados en este capítulo debe ser de ayuda para orientarse. Una vez fijados los propios indicadores, se trata la selección adecuada de las técnicas, los conceptos, las herramientas y los métodos de Kaizen para la mejora de los propios procesos. Sobre la base de las recomendaciones anteriores, se han elegido los más relevantes del capítulo 2.

Conceptos, técnicas y herramientas de Kaizen

En el capítulo 2 se ha descrito una gran variedad de técnicas y herramientas de la mejora continua que se pueden aplicar en una empresa al introducirlas con el concepto del evento de mejora continua adecuado. Al final hay que establecer y mantener una alta productividad de la fabricación industrial. Respecto a la espera, deben aplicarse los siguientes conceptos (C), técnicas (T) y herramientas (H):

- (C): EKUV
- (T): Justo a tiempo (JIT)
- (T): Kanban – sistema de fabricación desde el cliente (PULL)
- (T): Nivelado de carga (japonés Heijunka)
- (H): Supermercado
- (T): Nivelado de carga de fabricación
- (T): Reducción del tiempo de ciclo
- (H): Poka Yoke (mecanismos para prevenir errores)

Cada uno de los conceptos, de las técnicas y de las herramientas anteriormente mencionados están descritos en el capítulo 2 con más detalle.

Métodos de análisis de la mejora continua

Los siguientes métodos de análisis de la mejora continua ayudan descubrir y analizar la espera dentro de un proceso de fabricación industrial:

- Diagrama de Gantt
- Mapeo de flujo de valor (VSM)

Cada uno de los métodos de análisis está descrito en el capítulo 2 con más detalle.

En el apartado siguiente se describe, del mismo modo que se ha descrito en este capítulo el elemento de la espera, el elemento del cambio de herramienta.

5.2.3.2. El cambio de herramienta

En cualquier proceso productivo, sea industrial o no, se puede distinguir entre procesos que añaden valor y aquellos que no añaden valor para el cliente. El tiempo de cambio de herramienta forma parte de los desperdicios, dado que no añade valor para un posible cliente, descrito en la mejora continua (Liker, J.U., 2007). En este apartado vamos a analizar los efectos tanto del tiempo como del coste de cambio de herramienta en el PECOTA (el AVSM con PCT).

Definición del cambio de herramienta

Antes de entrar en el análisis hay que definir el elemento de cambio de herramienta de un proceso industrial. En base a la descripción general del capítulo 2 (véase capítulo 2.2.3.) se describe el concepto para el PECOTA. En la definición del cambio de herramienta como elemento se incluye la mayor parte de lo descrito en el capítulo 2.

La mayor diferencia entre la definición de la literatura y la definición aquí utilizada en el trabajo para el termino “herramienta” es que ahora se incluye cualquier tipo de adaptación del puesto de trabajo al cambiar el bien fabricado. Cuando se cambia la fabricación de un bien a otro, hay que ajustar la maquinaria utilizada y, en algunos casos, también partes del puesto de trabajo en sí. Además hay que ajustar todo el puesto de trabajo, que puede incluir la adaptación del personal. La adaptación del personal puede tener dos causas con dos cambios diferentes.

- Algunos procesos requieren una adaptación laboral porque la maniobra requerida es diferente. Por un lado puede ser que el puesto de trabajo sea menos automatizado y, por el otro, que es una cuestión de manejo del bien.
- Algunos procesos requieren personal especializado, dado que los procesos son más sofisticados o simplemente por razones legales (normas, leyes, etc.).

Los ajustes de personal valen no sólo para el elemento del cambio de herramienta de un proceso sino también para el elemento de los procesos de valor añadido. El cambio de personal influye, además, en el coste por hora, descrito en el capítulo 5.2.2. más detalladamente.

El coste del cambio de herramienta depende del lote de fabricación. En cuanto se produce en grandes lotes de fabricación, el coste de cambio de herramienta juega un papel menos importante en el coste total de la fabricación de un bien que en una situación en la que se produce en lotes más pequeños. La mejora continua requiere un máximo de flexibilidad y una fabricación en lotes pequeños. El destino final es la fabricación pieza a pieza (véase capítulo 2), por lo que la reducción del cambio de herramienta es imprescindible tanto en coste como en tiempo.

Para el elemento del cambio de herramienta de un proceso se define en este trabajo que el elemento de cambio de herramienta incluye todas las actividades y

- la fabricación del últio bien (en la cal
- el siguiente bien (también en la calid

Para este trabajo definimos el tiemp
tiempo necesario para adaptar una célula
industrial, a fin de variar la fabricación de
Mediante esa definición del cambio de her
para cualquier tipo de aplicación dentro del

El coste del cambio de herramient
proceso. Es importante mencionar que el
proceso del cambio de herramienta y el pr
de una fabricación industrial, un cambio de

ejemplo, un proceso de adaptación del puesto de trabajo en el que se requiere más personal para realizar dicho cambio, el coste del cambio de herramienta por hora es más elevado comparado con el coste del proceso de valor añadido por hora. Es importante constatar que el coste por hora del cambio de herramienta puede variar con respecto al coste del proceso de valor añadido. Por razones de simplificación, en el AVSM del caso práctico se ha definido un coste del mismo nivel para ambos procesos. Hay que tener en cuenta también que cada especificación requiere más información y análisis para la aplicación del AVSM.

El cambio de herramienta en el PCT

Para demostrar los efectos del tiempo de cambio de herramienta partimos desde el mapeo de flujo de valor del caso práctico de este trabajo. Como se ha descrito en el capítulo 2.2.6.3. en un mapeo de flujo de material (VSM) se demuestra también el tiempo de cambio de herramienta para cada proceso (T_c). Como se puede ver en la figura 5.16., el AVSM demuestra para cada proceso x no sólo el tiempo del cambio de herramienta (T_{CHx}) sino también su coste (C_{CHx}).

VSM *AVSM*

Proceso I	
refilar materia prima	
Tp [h] =	0,35
Tc [h] =	0,05
Personas =	0,5
Turno =	1

- el proceso de valor añadido durante la realización del proceso x del PCT I (P_{IVAx})
- la materia prima añadida durante el proceso x del PCT I (M_{Ix})

El proceso de valor añadido se describe con más detalle en el capítulo siguiente. Aquí sólo se muestra este elemento del proceso para complementar el gráfico, dado que forma el proceso restante.

A primera vista parece que la influencia del cambio de herramienta respecto a su coste y tiempo total es muy limitada. Por otro lado, su influencia varía mucho entre los diferentes procesos. Para poder evaluar la influencia y la importancia del efecto de un cambio de herramienta hay que ponerlo en relación con la fabricación total. Es importante destacar que tanto el tiempo como el coste del elemento de cambio de herramienta no están relacionados con la importancia del proceso. En el caso práctico, la relación entre el coste y el tiempo del cambio de herramienta y la importancia del proceso (por ejemplo la importancia para lograr ciertas propiedades en el producto) no existe. Visto de este modo, se deben analizar en más profundidad los procesos de elevado coste y tiempo debido a un cambio de herramienta. La eliminación de dichos procesos puede mejorar la productividad considerablemente.

La figura 5.17. muestra que el elemento del cambio de herramienta no es un elemento obligatorio para cada proceso. En la figura del caso práctico hay un ejemplo: en el proceso seis no existe el elemento del cambio de herramienta. Por otro lado, no existe ninguna relación entre la duración o el coste de un proceso total y la duración o el coste del elemento de cambio de herramienta. Puesto que en este trabajo se supone un coste por hora del cambio de herramienta igual al coste por hora del proceso de valor añadido, en la curva de la figura 5.17. se puede observar el mayor gasto en coste por los cambios de herramientas con más coste por hora.

En el caso práctico se trata de una línea de fabricación en la que el cambio de herramienta de un bien para otro siempre dura el mismo tiempo y causa los mismos costes en cada puesto de trabajo. En la industria también se pueden encontrar varios casos en los que el cambio del puesto de trabajo respecto a su tiempo y coste depende del bien fabricado al inicio y del bien a producir al final. Si se imagina una fabricación que está organizada de tal manera que todas las máquinas de la misma tecnología de fabricación se encuentran en el mismo sitio y los bienes se distribuyen entre ellos según la necesidad de su fabricación, se pueden encontrar situaciones en las que la adaptación del puesto de trabajo depende del cambio del bien fabricado. Este trabajo se centra más en la fabricación en línea y flujo y no en la fabricación ordenada por tecnología de fabricación.

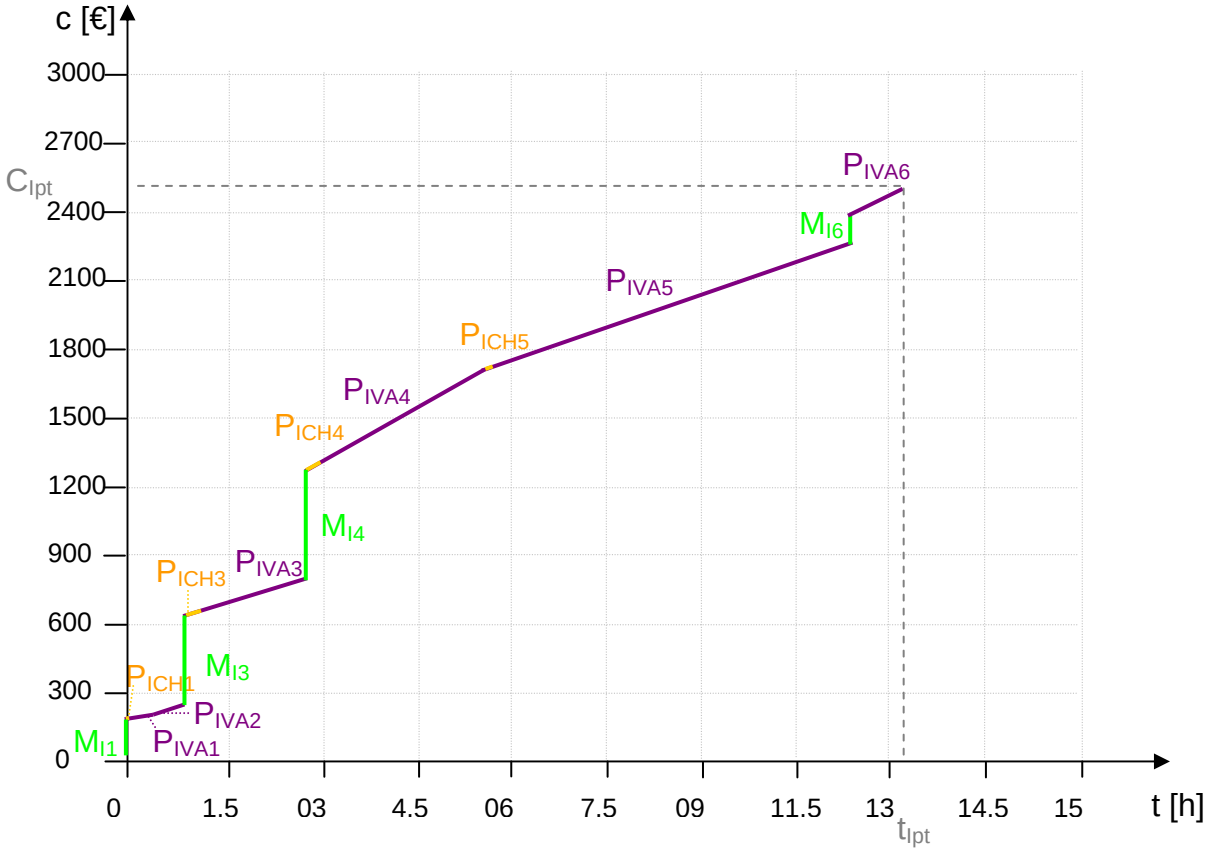


Figura 5.17. PCT I detallado sin espera

Volviendo al caso práctico, se pueden extraer todas las curvas del cambio de herramienta del gráfico de la figura 5.17., con lo que se obtiene la figura 5.18., eliminando los elementos de materia prima y procesos de valor añadido de la curva

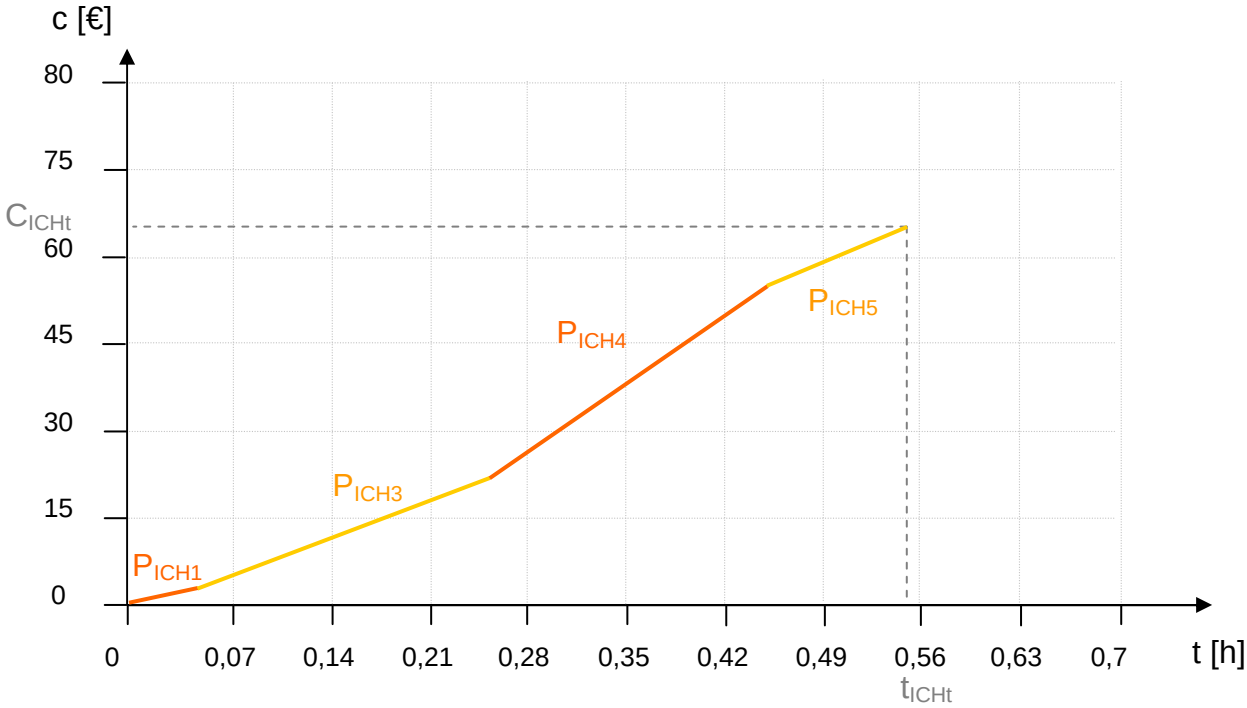


Figura 5.18. Tiempos y costes de cambio de herramienta situación inicial (PCT I)

Leyenda de la figura 5.18.

t_{ICHt} tiempo total de los procesos del cambio de herramienta del PCT I
C_{ICHt} coste total de los procesos del cambio de herramienta del PCT I
P_{ICHx} proceso de cambio de herramienta para realizar el proceso x del PCT I

Para cada elemento de cambio de herramienta (P_{ICH1} hasta P_{ICH6}) se encuentra en el anexo P. su tiempo y su coste exacto y, además, una explicación más detallada.

En la figura 5.18., la pendiente de las curvas para cada elemento (P_{ICH1} hasta P_{ICH6}) corresponde al coste por hora de cada elemento del cambio de herramienta de cada proceso. Como se ha mencionado anteriormente, este coste puede variar respecto al coste de proceso de valor añadido. Aun así, se puede observar que la reducción del tiempo del cambio de herramienta es aún más necesaria en cuanto se eleva el coste por hora. Mediante el gráfico se puede observar fácilmente cuál es el cambio de herramienta que se debe analizar y reducir con mayor prioridad.

Como se ha descrito al principio de este capítulo, en muchas ocasiones la mejora continua requiere más flexibilidad en la fabricación, lo que significa lotes más pequeños y más cambios de productos fabricados. En este caso hay que tener en cuenta que el elemento del cambio de herramienta siempre forma parte de la curva del análisis del PECOTA. Por eso es interesante saber qué importancia tiene el cambio de herramienta en relación al proceso dentro de una línea de fabricación. Por tanto se ha desarrollado el índice siguiente:

i_{YCHVAx} = relación del estado Y (estado inicial: I; estado final: II) entre el coste del elemento del cambio de herramienta y el coste del proceso de valor añadido del proceso x

= $(C_{YCHx} / C_{YVAx} \times 100)$

En la tabla siguiente se puede observar la relación entre el coste del cambio de herramienta para cada proceso y el coste del proceso de valor añadido.

Proceso PCT I	**P_{I1}**	**P_{I2}**	**P_{I3}**	**P_{I4}**	**P_{I5}**	**P_{I6}**
i_{ICHVAx} [= $(C_{ICHx} / C_{IVAx} \times 100)$]	14,3 %	0 %	11,8 %	8,3 %	1,5 %	0%

Leyenda:

i_{ICHVAx} índice del coste de cambio de herramienta en comparación con el coste del proceso de valor añadido del proceso x del PCT I
P_{Ix} proceso de referencia X
C_{ICHX} coste del cambio de herramienta del proceso x del PCT I
C_{IVAx} coste del proceso de valor añadido del proceso x del PCT I

Tabla 5.1. Relación entre el cambio de herramienta y el proceso estado inicial

El índice del coste de cambio de herramienta en comparación con el coste del proceso de valor añadido del proceso del PCT es un índice para describir la influencia del elemento de cambio de Kaizen. Se puede establecer la siguiente recomendación sobre la base de varios eventos de Kaizen de la empresa del caso práctico.

$$\mathbf{i_{YCHVAx} < 7\ \%}$$

con

$$i_{IICHVAx} = (C_{YCHx} / C_{YVAx} \text{ x}100)$$

El índice del cambio de herramienta i_{YCHVAx} indica una relación importante y debería estar por debajo del 7 %. El índice es aún más importante, cuanto más avanzada esté la fabricación, ya que un cambio de herramienta suele conllevar también una espera más elevada.

Dado que en este trabajo sólo se fija un coste por hora (para cada uno de los elementos de cambio de herramienta y de proceso de valor añadido), el índice basado en los costes representa también la relación respecto al tiempo entre los dos elementos. Si se supone un coste por hora diferente para ambos elementos, habrá que establecer y analizar también la relación de los tiempos.

Una vez fijado el índice, se trata de determinar la selección adecuada de las técnicas, los conceptos, las herramientas y los métodos de Kaizen para la mejora de los propios procesos. Sobre la base de las recomendaciones anteriores, se han elegido del capítulo 2 los más relevantes.

Conceptos, técnicas y herramientas de Kaizen

Respecto al elemento del cambio de herramienta, los conceptos (C), las técnicas (T) y las herramientas (H) siguientes son de especial ayuda para la mejora:

- (C): SPEED
- (C): SMED
- (C): OTED/NTED/STED
- (T): Sistema de fabricación en células (CMS)
- (T): Gestión de calidad total
- (H): Juego de pruebas (Benchmark)
- (T): Gestión visual (Andon)
- (H): 5S
- (H): Nuevos diseños de la fabricación.

Cada una de las técnicas y herramientas anteriormente mencionadas está descrita en el capítulo 2 con más detalle.

Métodos de análisis de Kaizen

Mediante los métodos de análisis de Kaizen se puede descubrir y analizar el cambio de herramienta dentro de un proceso de fabricación industrial. Los siguientes métodos de análisis ayudan a optimizar el cambio de herramienta:

- Pareto
- Diagrama de dispersión
- Ishikawa
- Árbol de realidad
- Los 5-M
- Las 7-preguntas
- Diagrama de Gantt
- Mapeo de flujo de valor (VSM)
- Diagrama de Spaghetti.

Cada uno de los métodos de análisis está descrito en el capítulo 2 con más detalle.

5.2.3.3. El proceso de valor añadido

Según la mejora continua, se puede distinguir entre procesos que añaden valor y los que no añaden valor para el cliente. Esta regla es válida para cualquier proceso, sea de fabricación industrial o no (Ohno, 1997). Cuando en este trabajo se habla de un proceso de valor añadido, se refiere a un proceso que añade valor desde el punto de vista del cliente. Esta teoría está bien descrita en el capítulo 2.2.1.

En este apartado vamos a analizar el tiempo de valor añadido con más detalle mediante el método del PECOTA y la aplicación al caso práctico.

Definición del elemento del proceso de valor añadido

Primero es menester definir qué está declarado como proceso de valor añadido en este trabajo. Para definir un proceso de valor añadido es necesario volver a la definición del valor del cliente definido en el capítulo 2.2.1. Al final se define el valor de un bien cuando un bien crea valor para su usuario (el cliente). Este valor refleja que el cliente está dispuesto a pagar por él. Fijando de esa manera el precio y las prestaciones necesarias del bien, el proveedor del bien debería centrarse en el suministro de dicho bien. De esa manera se suministra un bien al menor coste de elaboración y con las prestaciones y características demandadas por el cliente. Al simplificar los procesos realizados, se llega a los procesos de valor añadido para el cliente.

Resumiendo lo anteriormente mencionado, es importante destacar que

- el tiempo de proceso de valor añadido incluye también el tiempo que no añade valor al producto (desde el punto de vista del cliente)
- dado que el valor del cliente en su mayor parte no está relacionado con el proceso de fabricación, al cambiar el proceso de fabricación puede ocurrir que se llegue a eliminar hasta un proceso entero y, aún así, mantener el valor del cliente.

En los apartados siguientes se elabora aún más el proceso de valor añadido aplicándolo en el PECOTA.

Los proceso de valor añadido en el PCT

Para demostrar los efectos del proceso de valor añadido, partimos del AVSM del caso práctico. Comparando con un mapeo de flujo de material tradicional (VSM),

en el AVSM no sólo se demuestra el tiempo sino también el coste del proceso de valor añadido. Dicho coste está calculado en base al coste por hora que se analiza con más detalle en el capítulo 5.2.2. La figura 5.19. muestra el proceso de valor añadido en el mapeo de flujo (VSM y AVSM).

VSM *AVSM*

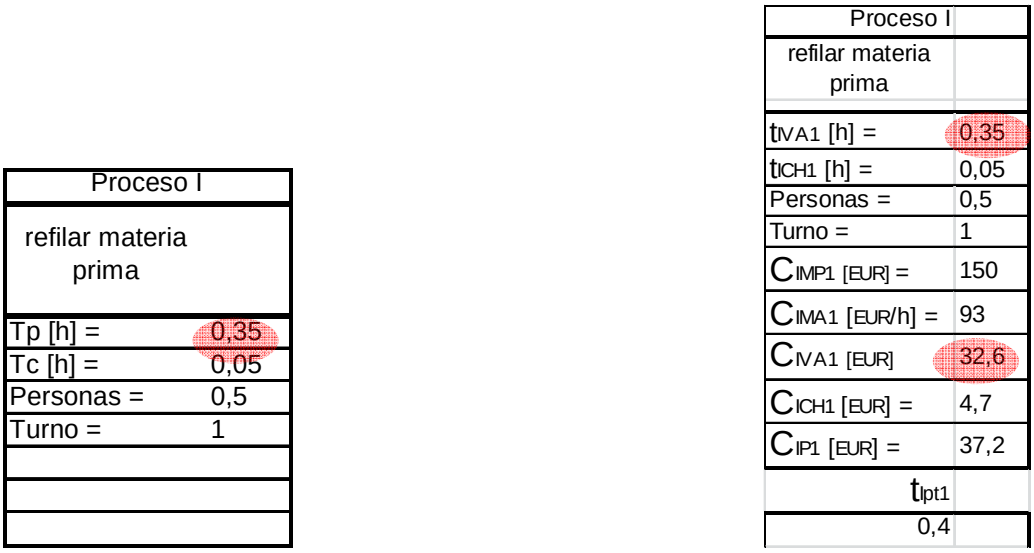


Figura 5.19. El proceso de valor añadido en el VSM y AVSM

La indicación del proceso de valor añadido no depende del AVSM, ya que el AVSM del estado final está basado en el mismo método.

Sobre la base del AVSM de la figura 5.19. se llega al PCT I del PECOTA para la fabricación industrial del caso práctico de este trabajo. En el gráfico de la figura 5.20. se puede ver el estado inicial del caso práctico.

De la figura 5.20. se obtiene la información rápida de la importancia de los diferentes procesos de valor añadido respecto al coste total de la fabricación. En la tabla 5.3. se demuestra que los procesos de valor añadido representan la mitad de los costes de la fabricación del bien. Teniendo en cuenta que el coste de la fabricación del bien consiste por un 41% por la materia prima, se entiende que la mejora de los procesos de valor añadido es de gran interés.

Cuando no se considera el elemento de la espera, los procesos de valor añadido suelen tener la mayor influencia sobre el tiempo necesario para la fabricación industrial de un bien. En el caso práctico con 6 procesos de valor añadido en el estado inicial, no solo tienen la mayor influencia sobre el tiempo sino también sobre los costes. Dependiendo del producto y de la estrategia de fabricación varia la influencia. Si suponemos una fabricación de un valor agregado grande (se fabrica no solo todas las piezas sino también cada uno de ellos casi desde la materia prima en la propia planta) la influencia de los procesos de valor añadido es mucho más elevado comparado con una fabricación de valor agregado pequeño (que podría ser una línea de monataje).

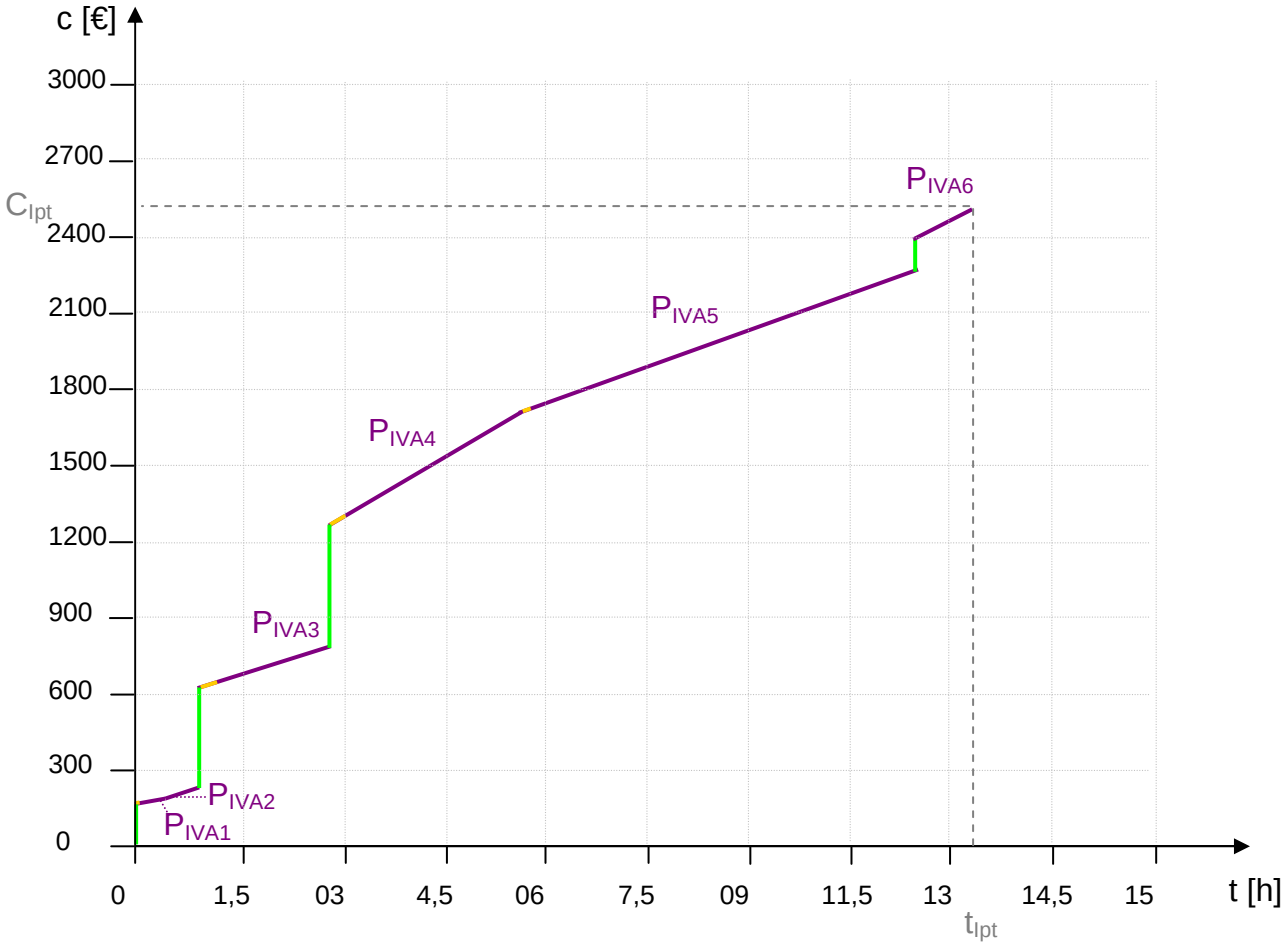


Figura 5.20. PCT I gráfico con proceso de valor añadido y cambio de herramienta

Leyenda:

t_{Ipt}	tiempo total de la fabricación sin espera del PCT I
C_{Ipt}	coste total de la fabricación sin espera del PCT I
P_{IVAx}	proceso de valor añadido durante la realización del proceso x del PCT I

Aunque en casi cualquier caso se pueden mejorar todos los procesos de una fabricación, es importante conocer los procesos de mayor influencia sobre el uso de los recursos. En la tabla 5.3. se analiza la influencia del coste de los procesos de valor añadido sobre el coste total de la fabricación del bien mediante un índice. Este índice (i_{YVAptx}) lo definimos entonces de la manera siguiente:

i_{YVAptx} = índice basado en la relación entre el coste del proceso x de valor añadido y el coste de la fabricación total del PCT Y

= (C_{YVAx} / C_{Ypt} x100).

Mediante el índice anteriormente mencionado se ha analizado el estado inicial del caso práctico. Además de la relación entre todos los procesos de valor añadido con el coste de la fabricación total, se demuestra el índice i_{IVApx} para cada proceso del PCT I en la tabla 5.3.

Proceso PCT I	P_{IVA1}	P_{IVA2}	P_{IVA3}	P_{IVA4}	P_{IVA5}	P_{IVA6}	P_{IVA1}-P_{IVA6}
$i_{IVAptx}= (C_{IVAx} / C_{Ipt} x100)$	2 %	2 %	9 %	15 %	23 %	6 %	56 %

Leyenda:

i_{IVAptx} índice del coste del proceso x de valor añadido en comparación con el coste de la fabricación total del PCT I
P_{IVAx} proceso de valor añadido del proceso x
C_{IVAx} coste del proceso de valor añadido del proceso x del PCT I
C_{Ipt} coste del proceso total del PCT I

Tabla 5.3. Relación inicial entre los procesos de valor añadido y proceso total

Dentro de los procesos de valor añadido, los procesos $P_{IVA3,}$ P_{IVA4} y P_{IVA5} son los más influyentes. Estos tres juntos representan un 47% del coste de la fabricación. Es importante conocer cuáles son los procesos de mayor influencia y no sus valores exactos. Se puede observar que mediante el método PECOTA (véase figura 5.20.) es fácil sacar esa información del gráfico sin tener que analizar matemáticamente esta información para cada proceso.

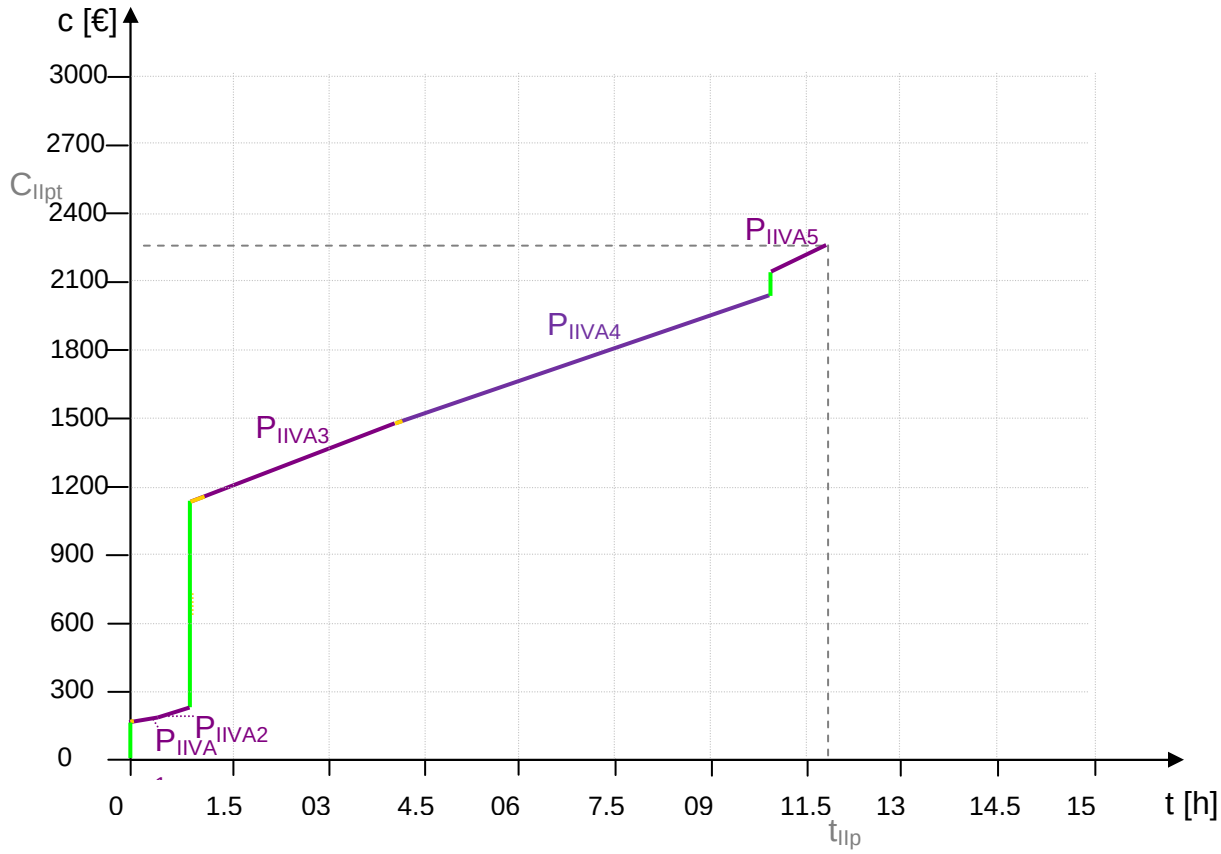
Una vez definidos los proceso de mayor influencia sobre el recurso que hay que optimizar (su tiempo, el coste o ambos), se puede ejecutar un evento de mejora continua con mayor precisión. En el caso práctico de este trabajo se ha realizado un evento de mejora continua para mejorar tanto el tiempo como el coste total de la fabricación del bien. En la tabla 5.4 se muestran los valores exactos de los índices para cada uno de los procesos de valor añadido de este estado.

Proceso PCT II	P_{IIVA1}	P_{IIVA2}	P_{IIVA3}	P_{IIVA4}	P_{IIVA5}	P_{IIVA1}-P_{IIVA5}
$i_{IIVAptx}= (C_{IIVAx} / C_{IIpt} x100)$	2 %	2 %	15 %	25 %	6 %	49 %

Tabla 5.4. Relación final entre los procesos de valor añadido yel proceso total

En este caso se han recortado los costes de los procesos de valor añadido en un 12 %. La mayor parte de la mejora se debe a la sustitución de los procesos P_{I3} y P_{I4} por el P_{II3}.

En la figura 5.21. se puede ver el gráfico del estado final con todos los procesos de valor añadido indicados.



Leyenda:

t_{IIpt}	tiempo total de la fabricación sin espera del PCT II
C_{IIpt}	coste total de la fabricación sin espera del PCT II
P_{IIVAx}	proceso de valor añadido durante la realización del proceso x del PCT II

Figura 5.21. PCT II con leyenda

Aunque se ha reducido el coste total de los procesos de valor añadido, su influencia sobre el coste total de la fabricación sin espera sigue siendo del 49%. Es importante mencionar que, al cambiar la fabricación durante el evento de mejora continua (se han juntado los procesos 3 y 4 del estado inicial en uno solo), se ha logrado una reducción total del coste total de fabricación.

Se puede ver que el índice anteriormente introducido (i_{IVAptx}) sólo es de ayuda para la comprobación de la importancia de los procesos de valor añadido. El mismo resultado se obtiene al analizar la figura 5.21. visualmente, por lo que, una vez más, se puede ver la ventaja del PECOTA.

Ahora queremos establecer también un valor de referencia para los procesos de valor añadido, por lo que aportamos el índice siguiente:

$i_{YVAtMAptx}$ = índice basado en la relación entre todos los costes de los procesos de valor añadido y todo el coste del material usado y el coste de la fabricación total del PCT Y

con

$[(C_{YVAt} + C_{YMAt}) / C_{Ypt} \times 100]$.

La relación entre los tiempos o costes de los procesos de valor añadido y los desperdicios directos (porque existen también desperdicios indirectos en los procesos de valor añadido, como se ha explicado anteriormente) debería llegar a la relación siguiente:

$$i_{YVAtMAptx} > 95\%.$$

El valor anteriormente definido refleja que la materia prima y los procesos de valor añadido deberían constituir más de un 95% del coste total de la fabricación. Este valor se ha fijado sobre la base de varios resultados de eventos de Kaizen dentro de la empresa del caso práctico. Hay que investigar más este valor en el futuro a fin de comprobar su valor y definir valores también para otras áreas de aplicación.

En el caso práctico de este trabajo se han obtenido los resultados siguientes:

$$i_{IVAtMAptx} = 89\%$$
$$i_{IVAtMAptx} = 95\%.$$

Cuanto más elevada sea la relación, tanto más efectivo será el proceso.

Como se ha dicho anteriormente, en un evento de mejora continua hay que centrarse en los procesos del mayor coste y no sólo intentar optimizar su tiempo y coste sino también intentar cambiar y eliminar procesos enteros. Mediante este análisis a partir del AVSM con PCT, podemos definir ciertas propuestas de acción en el apartado siguiente.

Propuesta de actuación para el proceso de valor añadido

Al principio de este capítulo se ha descrito que dentro de los procesos de valor añadido sigue habiendo procesos no valiosos, según la definición de este trabajo . Para detectar y eliminar esas partes de los procesos de valor añadido, se ha elaborado la propuesta de actuación siguiente:

El tiempo de los procesos de valor añadido:

- Hay que reducirlo al máximo, si es posible hay que eliminar los procesos (a través de la consecución de procesos más eficientes).
- Cuando sea necesario: El coste del proceso de valor añadido viene definido no sólo por el tiempo sino también por el coste por hora. Dicho coste puede variar respecto al coste por hora del cambio de herramienta.
- Dentro de los procesos de valor añadido hay que identificar los procesos que añaden valor y eliminar los otros subprocesos.
- Hay que relacionarlo con el tiempo y el coste total de la fabricación del bien e identificar los procesos de valor añadido más relevantes. Matemáticamente se puede calcular mediante la relación $\mathbf{I_{IVAp}} = (C_{IIpVAx} / C_{IIpt})$ o se puede obtener directamente del PCT del PECOTA.

Como referencia general se ha establecido el índice de la relación entre todos los costes de los procesos de valor añadido y todo el coste del material usado y el coste de la fabricación total del PCT ($i_{YVAtMAptx}$).

$$i_{YVAtMAtptx} > 95\%$$

con

$$[(C_{YVAt} + C_{YMAt}) / C_{Ypt} \times 100]$$

Respecto al proceso de valor añadido, deben aplicarse los conceptos (C), las técnicas (T) y las herramientas (H) siguientes:

Conceptos, técnicas y herramientas de Kaizen

Respecto al elemento del proceso de valor añadido, los conceptos (C), las técnicas (T) y las herramientas (H) siguientes son de especial ayuda para la mejora:

- (C): EKUV
- (T): Sistema de sugerencias
- (T): Justo a tiempo (JIT)
- (T): Sistema de fabricación en células (CMS)
- (T): Mantenimiento preventivo
- (T): Nivelado de carga
- (T): Gestión de calidad total
- (T): Simplificación de la planificación
- (T): Juego de pruebas (Benchmark)
- (T): Gestión visual (Andon)
- (H): 5S
- (H): Ceros defectos (Poka Yoke)
- (H): Nuevos diseños de la fabricación
- (H): Supermercado
- (H): Equipos autónomos

Cada una de las técnicas y herramientas anteriormente mencionadas está descrita en el capítulo 2 con más detalle.

Métodos de análisis de Kaizen

Mediante los métodos de análisis de Kaizen se puede descubrir y analizar los procesos de valor añadido dentro de un proceso de fabricación industrial. Los siguientes métodos de análisis son los más relevantes para el análisis de los procesos de valor añadido:

- Pareto
- Histograma
- Diagrama de dispersión
- Ishikawa
- Árbol de realidad
- Los 5-M
- Las 7-preguntas
- Lista de las 3 MUs
- Diagrama de Gantt
- AMEF

- Mapeo de flujo de valor (VSM)
- Diagrama de Spaghetti.

Cada uno de los métodos de análisis está descrito en el capítulo 2 con más detalle.

Después de haber descrito en detalle cada uno de los elementos de un proceso dentro del PECOTA, en el capítulo siguiente se desarrolla el coeficiente de la inversión.

5.3. El concepto de la inversión

En el capítulo del coste por hora (véase capitulo 5.2.2.) se ha descrito la influencia de los elementos tiempo y coste como resultantes del coste por hora. Se ha descrito que la evaluación de un proceso o de una cadena de procesos dentro de una fabricación industrial no se puede realizar simplemente sobre la base del coste por hora que representa la pendiente de la curva en el gráfico del PCT del PECOTA. Aunque el coste por hora es un elemento muy útil y necesario para el análisis, al final la influencia del tiempo y del coste es relevante.

En este capítulo se explica previamente la influencia de la inversión en coste y tiempo, se aplica el análisis al caso práctico y se llega finalmente a la propuesta de actuación para mejorar la inversión en tiempo y coste respecto a las necesidades de una empresa en base a la formación de relaciones.

5.3.1. La importancia de la inversión en coste y tiempo

Como se ha descrito en el capítulo 5.2.2., los factores más importantes para la evaluación de un proceso o de una fabricación industrial son los costes, la calidad y el tiempo. Estos tres factores no sólo describen el resultado sino también el estado de cualquier fabricación industrial. En este trabajo se supone que la calidad es constante y no debe empeorar al mejorar la productividad. Cuando la calidad sea satisfactoria o de un nivel aceptable para el cliente, esa calidad será un valor constante que hay que mantener. Por otro lado, no se debería mejorar mucho con respecto a la expectativa del cliente, ya que éste no estará dispuesto a pagar más por algo que no reconoce.

El PECOTA de este trabajo es un método visual para el análisis y la evaluación de una fabricación industrial. Por lo tanto, el tiempo y el coste son los factores más relevantes.

5.3.1.1. El coste de la fabricación

Los costes se pueden dividir en varias clasificaciones diferentes. En el capítulo 4.1. se ha descrito una de las clasificaciones financieras más usadas para cualquier tipo de fabricación con el fin de definir el coste de un producto realizado. El fin de cualquier sistema de coste en una empresa es asignar los costes a los diferentes productos de tal manera que se pueda poner un precio a cada uno de los productos que no sólo cubra los costes sino que también permita establecer un beneficio para la empresa (Däumler, K-D., 2004).

El concepto de los costes se adapta a este trabajo partiendo de la literatura. En este trabajo, los costes de una fabricación industrial se dividen en la materia prima requerida, el coste de la fabricación y el coste de todos aquellos procesos adicionales (desde la logística hasta la venta) que no se puedan asignar

directamente al producto. En este trabajo es importante que los costes de fabricación, los costes de la materia prima y los costes de procesos adicionales formen parte de un producto.

Hay mercados en los que sólo el coste determina la decisión de un cliente de si compra un producto o no. Ahora bien, el coste no siempre determina el atractivo de un producto para un posible cliente. En algunos mercados es importante tener en cuenta también el tiempo. En el apartado siguiente vamos a analizar la influencia del tiempo.

5.3.1.2. El tiempo de la fabricación

Aparte del coste, el tiempo es el factor más importante para la evaluación de una fabricación industrial. Aunque en varias industrias, hoy en día, la accesibilidad de la materia prima es un factor importante para la realización de un bien, en este trabajo nos centramos en el tiempo necesario para la realización de un bien en una línea de fabricación. De esta manera, no sólo se incluye el tiempo de los procesos de valor añadido, sino también el tiempo del cambio de herramienta y de la espera. Se supone que todos los materiales para la fabricación están disponibles en la planta. Para reducir el tiempo de fabricación de un bien (lo que equivale a la reducción del ciclo o a la mejora de la productividad), hay varias opciones. Las más importantes son las siguientes:

- Reducción del tiempo de suministro de la materia prima o de los componentes necesarios
- Reducción del cambio de herramienta
- Reducción del tiempo de los procesos de valor añadido
- Reducción de almacenes para reducir el tiempo de ciclo y mejorar la flexibilidad para los cambios.

Cuando se reduce el tiempo de ciclo y se reduce también el almacén, se pueden reducir los costes de la fabricación, ya que no hay que financiar los bienes y productos semiacabado en el almacén. Esa relación de coste y tiempo no es constante, hecho que se describe en el apartado siguiente.

Siempre es de gran interés que el tiempo de fabricación de un bien sea lo más corto posible. Cuando se reduce el tiempo de realización de un bien, se incrementa la flexibilidad de una empresa para ofrecer un producto a un cliente. Además se pueden realizar posibles cambios de un bien más deprisa y se puede adaptar la oferta de la empresa en menos tiempo a las influencias de los mercados. De esta manera se puede aprovechar mejor una fase de boom o realizar una adaptación más rápida a una fase de crisis.

5.3.1.3. La relación coste tiempo

Ahora bien, el fin de cualquier fabricación es reducir los costes y los tiempos necesarios para la realización de un bien. Aparte de la excepción de la reducción del almacén, que implica una disminución de los costes (véase apartado anterior), en varias ocasiones los dos factores son opuestos. Dependiendo del mercado de un bien, hay que destacar también la necesidad de optimizar un factor. Hay mercados en los que el cliente está satisfecho con un determinado tiempo de entrega, y una reducción de dicho tiempo no significaría ninguna mejora desde su punto de vista. En dichas ocasiones es necesario centrarse en la optimización de los costes de

fabricación. Por otro lado, hay mercados en los cuales los costes de un bien están aceptados por los clientes y es necesario optimizar el tiempo de entrega. En general se puede estimar que la mayor parte de los mercados representan una mezcla entre los dos casos extremos anteriormente descritos.

Como la necesidad de cada empresa respecto a la reducción de tiempo y coste puede variar, hay que encontrar también la posibilidad del ajuste y de la adaptación del análisis para cada empresa. Además es importante que un posible estado deseado o ideal refleje la optimización del tiempo y del coste para un caso concreto. Este estado está descrito en el capítulo 5.4. como límite lean.

Teniendo en cuenta la influencia del tiempo y del coste, es importante incluir los dos factores en un posible análisis y evaluación de una fabricación industrial. En este trabajo se introduce el nuevo coeficiente de la inversión. Por razones de simplificación, en este trabajo se elabora el nuevo coeficiente de la inversión con la influencia del coste y del tiempo igual y constante. Al tener la influencia igual, en este caso se supone la misma importancia para cada uno de los factores.

5.3.2. Definición de la inversión del PECOTA

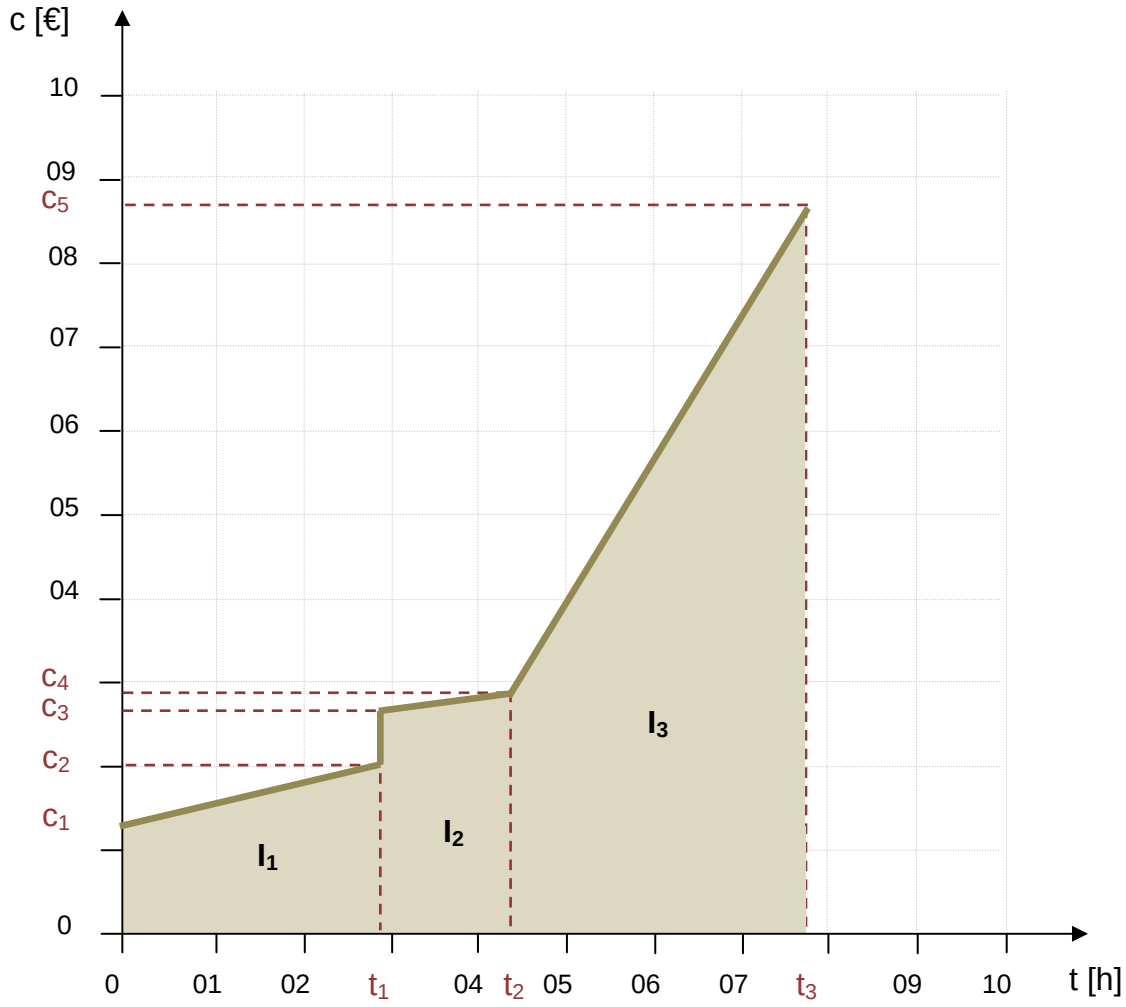
La inversión del PECOTA refleja el uso de los factores coste y tiempo para realizar un proceso o una fabricación completa, asumiendo una calidad del bien constante. Dado que el PECOTA permite visualizar los costes y el tiempo de cualquier fabricación industrial, también permite el análisis gráfico de la inversión.

La inversión en coste y tiempo, definido como el integral de coste y tiempo de un proceso, equivale a la inversión en coste y tiempo durante un proceso. Aunque la preferencia de optimizar el coste o el tiempo (como anteriormente descrito) pueda variar, no cabe duda que una fabricación será más productiva y, por lo tanto, más competitiva, cuanto menos tiempo y coste requiera la realización de un bien con el mismo nivel de calidad.

De esta manera, la inversión permite analizar una fabricación en base a los dos factores más importantes resumidos en un valor solo. El método PECOTA aquí descrito permite incluir los dos factores de una manera fácil. Antes de describir el posible análisis visual mediante el PECOTA, en el apartado siguiente se describe el cálculo matemático de las inversiones.

5.3.2.1. Definición matemática de la inversión

En este apartado vamos a ver el cálculo de la inversión total y de sus diferentes elementos. Para entender mejor el cálculo se presenta la inversión en un perfil de coste y tiempo. En la figura 5.23. se puede observar la inversión en coste y tiempo de un conjunto ficticio de tres procesos diferentes.



Leyenda:

t_1	tiempo al terminar el proceso I
t_2	tiempo al terminar los procesos I y II
t_3	tiempo al terminar todos los procesos
C_1	coste de la materia prima para realizar el proceso I
C_2	coste al terminar el proceso I
C_3	coste al terminar el proceso I añadiendo la materia prima del proceso II
C_4	coste al terminar el proceso II
C_5	coste al terminar todos los procesos
I_1	inversión al realizar el proceso I
I_2	inversión al realizar el proceso II
I_3	inversión al realizar el proceso III

Figura 5.22. Inversión en coste y tiempo general

La Figura 5.22. muestra un conjunto de tres procesos de una fabricación industrial en un perfil de coste y tiempo. Antes de iniciar los procesos uno y dos, se

añade material al bien, definido mediante los costes de diferencia (material del proceso I: C_1; material del proceso II: $C_3 - C_2$). Los costes por hora de los tres procesos varían, hecho que se refleja en las pendientes diferentes de las curvas de los procesos. El coste por hora del proceso tres es el más elevado y el del proceso dos el más económico.

En el gráfico, la inversión está definida matemáticamente de la forma siguiente:

$$I_x = \int C_x (x)\, t_x (x)\, dx \text{ [en €h (euros x horas]}$$

con:

- I_x inversión durante el proceso x
- C_x coste del proceso x
- t_x tiempo del proceso x.

La inversión durante un proceso de fabricación industrial equivale al coste y al tiempo invertidos durante el proceso. El integral de coste y tiempo representa el área debajo de la curva de un proceso en el perfil de coste y tiempo. Vamos a analizar ahora esa área con más detalle.

Antes del análisis de los diferentes elementos de la inversión se introducen los conceptos de la inversión absoluta y de la inversión simple.

La inversión absoluta

Durante cada proceso se invierte dinero (coste) y tiempo. Los diferentes elementos de la inversión los vamos a analizar más adelante. Es importante entender que hay una inversión absoluta que equivale a la inversión por un proceso. Esta inversión se define por el coste y el tiempo necesarios para realizar dicho proceso. Si se eliminara el proceso, se eliminaría también por completo la inversión. A esta inversión la llamamos inversión absoluta (I_{Yxabs}, véase también figura 5.24.). Toda inversión durante el primer proceso de una fabricación siempre equivale a la inversión absoluta.

El segundo proceso requiere también coste y tiempo para su realización. Si sólo realizáramos el segundo proceso, sin necesidad del primer proceso, sólo gastaríamos el coste y el tiempo del segundo proceso. A esta inversión también se le denomina inversión absoluta. La inversión de todos los siguientes procesos consiste de la inversión absoluta y de la inversión acumulada.

La inversión acumulada

Cuando se imagina una fabricación que consiste de dos o más procesos diferentes, cada uno de los procesos requiere su coste y tiempo correspondiente. El primer proceso se realiza sin tener que gastar tiempo o coste para empezarlo. El primer proceso sólo requiere una inversión absoluta (véase el capítulo anterior).

Una vez terminado el primer proceso, se puede empezar con el siguiente. Pero en una cadena de dos procesos o más, el segundo proceso empieza en el nivel del coste donde el anterior termina. El problema es que, al empezar el segundo proceso, ya se han invertido recursos (coste y tiempo). No se empieza “desde cero”. Al añadir la inversión absoluta del proceso dos, se añade también tiempo al valor creado durante el proceso uno. Así pues, definimos la inversión acumulada como la

inversión total que se gasta por el nivel de coste acumulado durante el proceso anterior. Se puede distinguir entre dos tipos de inversiones acumuladas.

1.) Inversión acumulada del proceso x del PCT Y ($I_{Yxac.pro.}$)
La inversión acumulada del proceso incluye la inversión durante un proceso debido al nivel de coste alcanzado al empezar el proceso (debido a los procesos anteriores). Esta inversión se realiza durante un proceso, cuando hay uno o más procesos anteriores. Es la inversión indirecta durante un proceso.

2.) Inversión acumulada por la fabricación del proceso x del PCT Y ($I_{Yxac.fab.}$)
La inversión acumulada por la fabricación es la inversión total de un proceso. Esta inversión incluye cualquiera inversión realizada durante la ejecución de un proceso, ya sea por los costes de los procesos anteriores o por el coste del propio proceso.

Las tres inversiones diferentes se muestran en la figura 5.23.

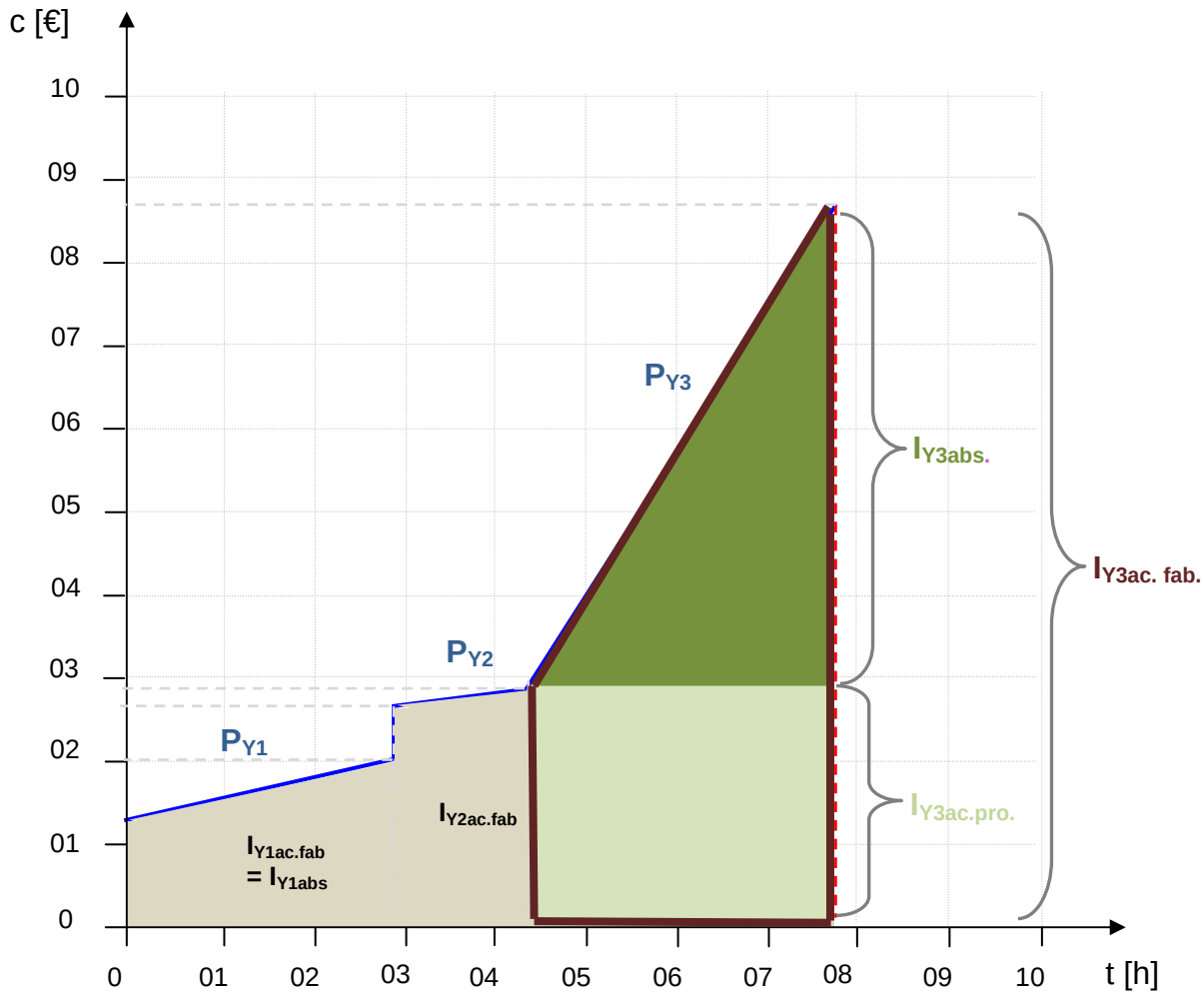


Figura 5.23. Inversión detallada en coste y tiempo general

Leyenda de la figura 5.23:

P_{Yx}	proceso x del PCT Y
$I_{Yxabs.}$	inversión absoluta al realizar el proceso x del PCT Y
$I_{Yxac.pro.}$	inversión acumulada del proceso x del PCT Y
$I_{Yxac.fab.}$	inversión acumulada de la fabricación del proceso x del PCT Y

La inversión del primer proceso es igual a la inversión absoluta. También se puede llamar inversión acumulada de la fabricación del proceso uno.

En la figura 5.23. se puede ver cada uno de los tres diferentes tipos de inversión de un proceso de fabricación. La inversión total de la fabricación equivale a la suma de todas las inversiones acumuladas de la fabricación de los procesos del PCT.

Si se eliminara el último proceso, se eliminaría su inversión absoluta así como la inversión acumulada del proceso. De esta manera se eliminaría también la inversión acumulada por la fabricación del proceso.

5.3.3. Los elementos de la inversión

En los apartados siguientes vamos a analizar ahora cada uno de los elementos básicos de un proceso (véase capítulo 5.2.3.) de la inversión con más detalle. Se describe el cálculo de la inversión acumulada de fabricación de un proceso para cada elemento, dado que esa inversión es la inversión total.

5.3.3.1. La materia prima

Para la realización de un proceso dentro de una fabricación industrial puede ser necesario añadir materia prima. Como se ha descrito en el capítulo anterior de la materia prima añadida (véase capitulo 5.2.3.), en el PECOTA se demuestra el valor de la materia prima añadida al principio de un proceso con un incremento de los costes. Ahora bien, dicho incremento representa un aumento de los costes y, por lo tanto, también una elevación de la inversión del proceso. La inversión por la materia prima se calcula de la forma siguiente:

$$I_{YMPx} = \int C_{YMPx}(x)\, t_{Yx}(x)\, dx$$

Leyenda:

I_{YMPx}	inversión causada por la materia prima durante el proceso x del PCT Y
C_{YMPx}	coste de la materia prima añadida durante el proceso x del PCT Y
t_{Yx}	tiempo del proceso x del PCT Y

En la fórmula expuesta anteriormente la inversión por la materia prima equivale al área debajo de la curva formada por el tiempo y el coste de la materia prima durante el proceso. Como que es difícil definir cuándo se añade la materia prima durante un proceso de fabricación o ensamblaje, para la aplicación en el PECOTA se determina que se debe añadir el coste de la materia prima siempre al inicio del proceso. Esta definición viene dada por el hecho de que la materia prima, que puede ser de cualquier tipo de material añadido al y/o usado para el bien durante un determinado proceso, tiene que estar disponible en el puesto de trabajo antes de empezar el proceso de fabricación. De esta forma también se puede definir

que se debe añadir el coste de ese material al bien en el momento del inicio del proceso.

Si se añade materia prima durante un proceso industrial o no, en el PECOTA no tiene ninguna influencia sobre el tiempo total de un proceso. Si se imagina un proceso de fabricación de un bien a base de una materia prima, el coste de la materia prima hay que añadirlo durante todo el tiempo del proceso. De esta manera se puede definir la inversión en materia prima también de la manera siguiente:

$$I_{YMPx} = C_{YMPx} \times t_{Yx}$$

Leyenda:

- I_{YMPx} inversión causada por la materia prima durante el proceso x del PCT Y
- C_{YMPx} coste de la materia prima añadida durante el proceso x del PCT Y
- t_{Yx} tiempo del proceso x del PCT Y

Resumiendo los resultados anteriores, se puede decir que, al añadir materia prima durante un proceso, se eleva la inversión del proceso durante todo el tiempo de la duración de dicho proceso.

5.3.3.2. El cambio de herramienta

Según la definición del capítulo 5.2.3., cada proceso de fabricación industrial consiste del proceso de valor añadido y del proceso de cambio de herramienta. Ambos procesos forman el proceso entero de la transformación de un bien hacia un bien industrial demandado por un cliente. La inversión por el proceso de cambio de herramienta de un proceso x del PCT Y se calcula de la manera siguiente:

$$I_{YCHx} = \int C_{YCHx}(x)\, t_{YCHx}(x)\, dx$$

Leyenda:

- I_{YCHx} inversión causada por el cambio de herramienta durante el proceso x del PCT Y
- C_{YCHx} coste del cambio de herramienta durante el proceso x del PCT Y
- t_{YCHx} tiempo del proceso del cambio de herramienta del proceso x del PCT Y

5.3.3.3. El proceso de valor añadido

La inversión por el proceso de valor añadido se calcula de la misma manera que la inversión por el cambio de herramienta, únicamente adaptando las variables correspondientes. Así se obtiene, para el cálculo de dicha inversión por el proceso de valor añadido del proceso x del PCT Y, la fórmula siguiente:

$$I_{YVAx} = \int C_{YVAx}(x)\, t_{YVAx}(x)\, dx$$

Leyenda:

- I_{YVAx} inversión causada por el proceso de valor añadido del proceso x del PCT Y
- C_{YVAx} coste del proceso de valor añadido del proceso x del PCT Y
- t_{YVAx} tiempo del proceso de valor añadido del proceso x del PCT Y

5.3.3.4. La inversión por espera

La inversión por espera refleja el gasto por almacenar una materia prima, un producto semiacabado o un bien acabado. La inversión por la espera durante un proceso x del PCT Y se calcula de la manera siguiente:

$$I_{YESx} = \int C_{YESx}(x)\, t_{YESx}(x)\, dx$$

Leyenda:

- I_{YESx} inversión causada por la espera durante un proceso x del PCT Y
- C_{YESx} coste de la espera del proceso x del PCT Y
- t_{YESx} tiempo de la espera del proceso x del PCT Y

5.3.4. La inversión absoluta de un proceso

La inversión por la materia prima añadida durante un proceso, por el cambio de herramienta del proceso, por el proceso de valor añadido del proceso y la espera forman la inversión por la realización de un proceso x del PCT Y, cuyo cálculo se puede definir de la forma siguiente:

$$I_{Yxpabs} = I_{YMPx} + I_{YCHx} + I_{YVAx} + I_{YESx}$$

igual a

$$I_{Yxpabs} = \int C_{YMPx}(x)\, t_{YMPx}(x)\, dx + \int C_{YCHx}(x)\, t_{YCHx}(x)\, dx + \int C_{YVAx}(x)\, t_{YVAx}(x)\, dx + \int C_{YESx}(x)\, t_{YESx}(x)\, dx$$

igual a

$$I_{Yxpabs} = (C_{YMPx} \times t_{YMPx}) + \int C_{YCHx}(x)\, t_{YCHx}(x)\, dx + \int C_{YVAx}(x)\, t_{YVAx}(x)\, dx + \int C_{YESx}(x)\, t_{YESx}(x)\, dx$$

Leyenda:

- I_{Yxpabs} inversión absoluta del proceso x del PCT Y
- I_{YMPx} inversión de la materia prima durante el proceso x del PCT Y
- C_{YMPx} coste de la materia prima añadida durante el proceso x del PCT Y
- t_{YMPx} tiempo del proceso x del PCT Y
- I_{YCHx} inversión del cambio de herramienta del proceso x del PCT Y
- C_{YCHx} coste del cambio de herramienta del proceso x del PCT Y
- t_{YCHx} tiempo del proceso del cambio de herramienta del proceso x del PCT Y
- I_{YVAx} inversión del proceso de valor añadido del proceso x del PCT Y
- C_{YVAx} coste del proceso de valor añadido del proceso x del PCT Y
- t_{YVAx} tiempo del proceso de valor añadido del proceso x del PCT Y
- I_{YESx} inversión de la espera durante el proceso x del PCT Y
- C_{YESx} coste de la espera del proceso x del PCT Y
- t_{YESx} tiempo de la espera del proceso x del PCT Y

Como que se ha definido anteriormente que la inversión por la materia prima se añade al principio del proceso y que la inversión por el cambio de herramienta se

realiza anteriormente a la inversión por el proceso de valora añadido, hay que tener en cuenta la curva del coste para dichos elementos. Como se ha definido en el capítulo 5.3.4., la inversión absoluta es igual a la inversión total durante el primer proceso, teniendo en cuenta todos los elementos. De esta manera se puede realizar, para el cálculo de la inversión respecto a los tiempos, la simplificación siguiente:

- t_{Yx} = $t_{YMPx} = t_{YCHx}$ = tiempo del proceso x del PCT Y
- t_{YVAx} = tiempo del proceso de valor añadido del proceso x del PCT Y, incluyendo el tiempo de espera
- t_{YESx} = tiempo de espera del proceso x del PCT Y

Mediante la definición anterior se llega a la fórmula siguiente para la inversión absoluta durante un proceso del PCT Y:

$$I_{Yxpabs} = (C_{YMPx} \times t_{Yx}) + \int C_{YCHx}(x)\, t_{Yx}(x)\, dx + \int C_{YVAx}(x)\, t_{YVAx}(x)\, dx + \int C_{YESx}(x)\, t_{YESx}(x)\, dx$$

La definición anterior implica que al principio de un proceso está la inversión por la materia prima. Cuanto más tiempo requieran el cambio de herramienta, el proceso de valor añadido y la espera, tanto más se elevará también la inversión por el valor añadido de la materia prima.

5.3.5. La inversión durante una fabricación de varios procesos

La inversión en tiempo y coste de un proceso consiste de la inversión por los cuatro elementos: materia prima, cambio de herramienta, proceso de valor añadido y espera. Como se ha descrito en los apartados anteriores, hay que diferenciar entre la inversión absoluta de cualquier proceso y su inversión acumulada.

Si nos imaginamos una fabricación que consiste de tres procesos diferentes, como es el caso en la figura 5.23., la inversión total no es igual a la suma de todas las inversiones absolutas por los diferentes procesos. Hay que tener en cuenta la inversión del proceso anterior, que eleva el nivel de coste y, por tanto, la inversión total del proceso siguiente. Es el concepto de la inversión acumulada del proceso, presentado en el capítulo 5.3.5. Sobre la base de esta definición, se llega a la fórmula siguiente para el cálculo de la inversión total de la fabricación industrial de un bien del PCT Y:

$$I_{Yt} = I_{Y1t} + I_{Y2t} + \ldots + I_{Ynt}$$

$$= \sum_{n=1}^{x} I_{Ynt}$$

igual a

$$I_{Yt} = I_{Y1ac.pro.} + I_{Y1abs.} + I_{Y2ac.pro.} + I_{Y2abs.} + \ldots + I_{Ynabs.} + I_{Ynac.pro.}$$

$$I_{Yt} = \sum_{n=1}^{x} I_{Yxac.pro.} + \sum_{n=1}^{x} I_{Yxabs.}$$

igual a

$$I_{Yt} = I_{Y1ac.fab.} + I_{Y2ac.fab.} + \ldots + I_{Ynac.fab.}$$

$$= \sum_{n=1}^{x} I_{Ynac.fab.}$$

igual a

$$I_{Yt} = \sum_{n=1}^{x} I_{YMPn} + \sum_{n=1}^{x} I_{YCHn} + \sum_{n=1}^{x} I_{YVAn} + \sum_{n=1}^{x} I_{YVES} + \sum_{n=1}^{x} I_{Ynac.pro.}$$

Leyenda:

I_{Yt}	inversión total durante la fabricación del PCT Y
I_{Ynt}	inversión total del proceso x del PCT Y
x	proceso x de la fabricación
I_{YxMP}	inversión por la materia prima durante el proceso x del PCT Y
I_{YxCH}	inversión por el cambio de herramienta del proceso x del PCT Y
I_{YxVA}	inversión por el proceso de valor añadido del proceso x del PCT Y
I_{YxES}	inversión por la espera durante el proceso x del PCT Y
$I_{Yxabs.}$	inversión absoluta del proceso x del PCT Y
$I_{Yxac.pro.}$	inversión acumulada del proceso x del PCT Y
$I_{Yxac.fab.}$	inversión acumulada de la fabricación del proceso x del PCT Y

Para comparar diferentes fabricaciones o sus estados, es necesario comparar sólo los procesos que sean diferentes. Si los procesos hasta un proceso del análisis específico son iguales, se puede empezar con la comparación con el primer proceso que varía. De este proceso se analiza entonces la inversión absoluta, sin tener en cuenta la influencia por los procesos anteriores.

En el apartado siguiente se describe la aplicación de la teoría en el PECOTA sobre la base del caso práctico.

5.3.6. La inversión en el PECOTA

El cálculo matemático del capítulo anterior no resulta muy practicable en el día a día. Además, hay que asegurar no sólo una manera rápida de aplicar un análisis, sino también la posibilidad de su uso fácil por parte del personal de la planta.

Aplicando el concepto de la inversión en coste y tiempo en el PECOTA, se llega a un análisis visual fácilmente aplicable y comprensible. En este capítulo vamos a presentar la inversión dentro del PECOTA. La figura 5.24. muestra la inversión absoluta de un proceso en el PCT del PECOTA.

La figura 5.24. muestra un proceso único dentro de una fabricación industrial. El proceso en este caso consiste de una materia prima añadida, un cambio de herramienta, un proceso de valor añadido y una espera. Dado que la inversión debe ser un valor que hay que analizar sobre todo mediante comparación entre los elementos, es importante que se puedan ver y reconocer de una manera fácil y rápida las inversiones más relevantes.

Si suponemos que una fabricación consiste de más de un proceso, hay que demostrar no sólo la inversión absoluta sino también la inversión acumulada. En la figura 5.25. se encuentra un gráfico de un PCT del PECOTA de una fabricación con dos procesos diferentes.

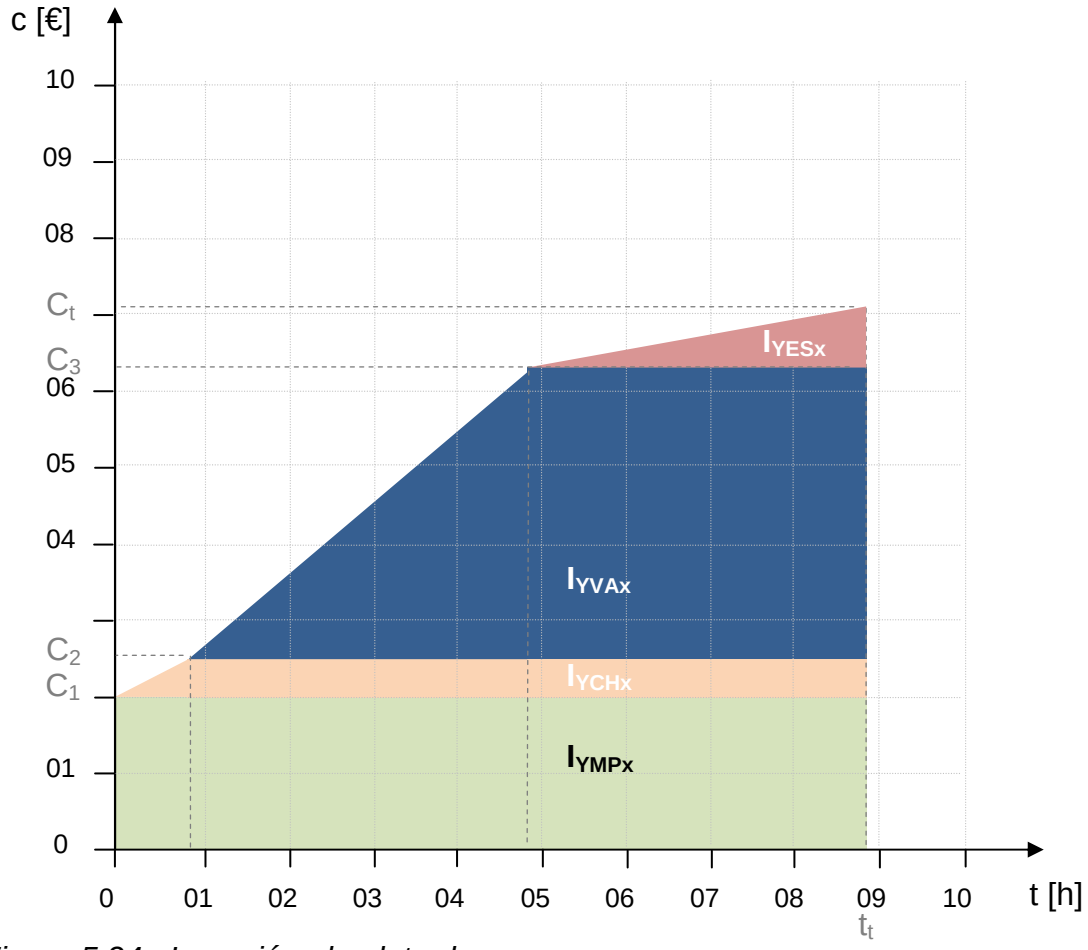


Figura 5.24. Inversión absoluta de un proceso

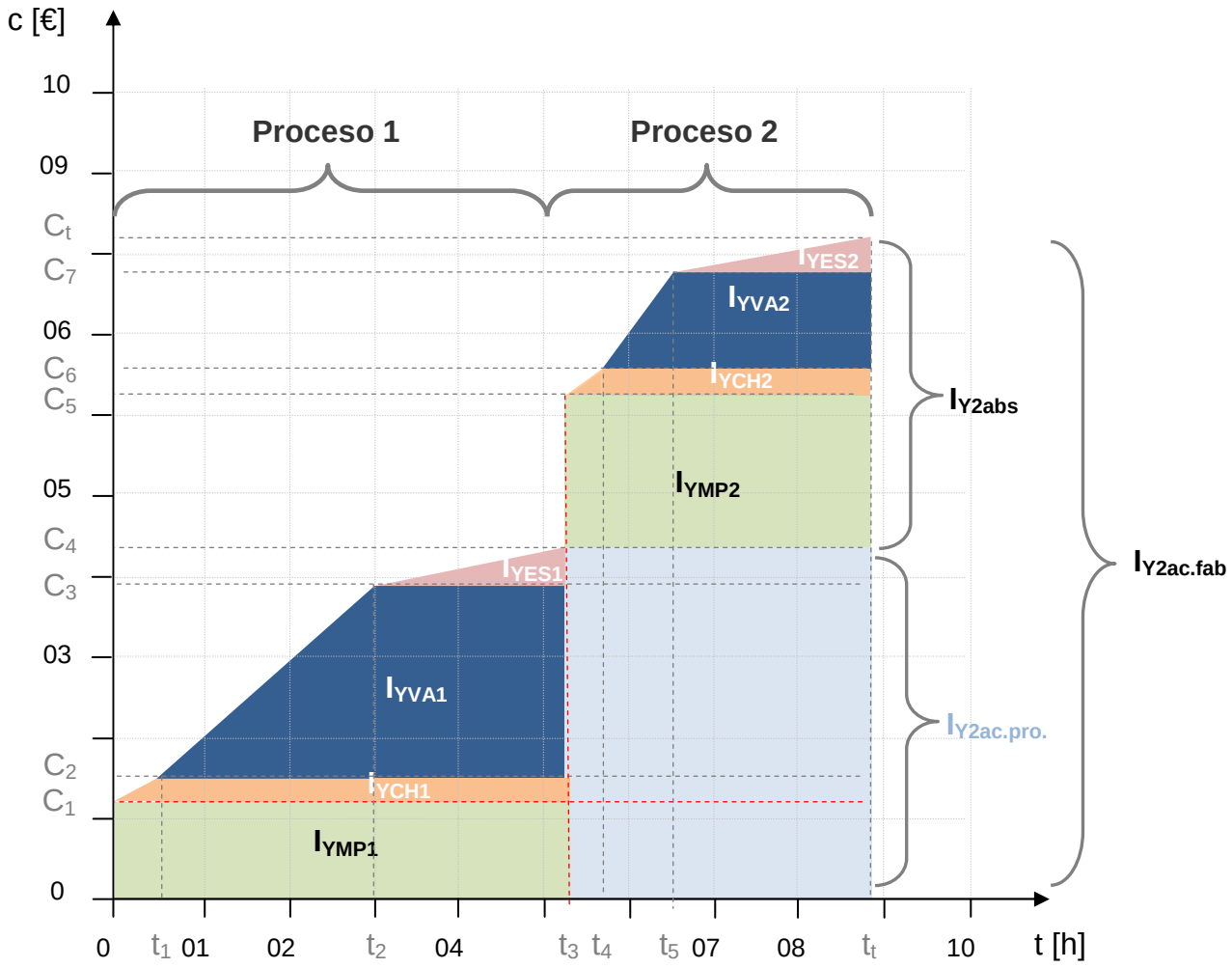
Leyenda:

t	tiempo en horas
c	coste en euros
t_{Yt}	tiempo total del proceso del PCT Y
C_{Y1}	coste incluyendo la materia prima añadida durante el proceso x del PCT Y
C_{Y2}	coste incluyendo la materia prima añadida durante el proceso x del PCT Y e incluyendo el coste del cambio de herramienta del proceso x del PCT Y
C_{Y3}	coste incluyendo la materia prima añadida durante el proceso x del PCT Y, el cambio de herramienta del proceso x y el proceso de valor añadido del proceso x del PCT Y
C_{Yt}	coste total de la fabricación del PCT Y
I_{YMPx}	inversión causada por la materia prima durante el proceso x del PCT Y
I_{YVAx}	inversión causada por el proceso de valor añadido del proceso x del PCT Y
I_{YCHx}	inversión causada por el cambio de herramienta del proceso x del PCT Y
I_{YESx}	inversión causada por la espera durante el proceso x del PCT Y

La figura 5.25. muestra una fabricación de dos procesos, cada uno de ellos con los elementos de materia prima añadida, de un cambio de herramienta, de un

proceso de valor añadido y con una espera. Mediante el gráfico se deja realizar una comparación calificativa entre ambos procesos.

El primer proceso tiene una inversión total del proceso igual a la inversión absoluta del proceso, dado que no tiene ningún proceso anterior. En el PECOTA se puede observar la influencia de los elementos y sus inversiones sobre la inversión total del proceso. Puesto que se marca toda el área de la inversión de un elemento en la curva del PCT del PECOTA, el análisis de la influencia de cada elemento resulta aún más fácil. En este ejemplo, la materia prima y el proceso de valor añadido tienen la mayor influencia sobre el primer proceso.



Leyenda:

t_t	tiempo total del proceso/de la fabricación
C_x	diferentes niveles de los costes descritos en el Anexo Q.
I_{MPx}	inversión de la materia prima durante el proceso x del PCT Y
I_{VAx}	inversión del proceso de valor añadido del proceso x del PCT Y
I_{CHx}	inversión del cambio de herramienta del proceso x del PCT Y
I_{ESx}	inversión de la espera durante el proceso x del PCT Y
$I_{Y2ac.pro.}$	inversión acumulada durante el proceso 2 del PCT Y
$I_{Y2abs.}$	inversión absoluta del proceso 2 del PCT Y
$I_{Y2ac.fab.}$	inversión total acumulada durante el proceso 2 del PCT Y

Figura 5.25. Inversión por dos procesos en el PECOTA

La figura 5.25. muestra una fabricación de dos procesos, cada uno de ellos con los elementos de materia prima añadida, de un cambio de herramienta, de un proceso de valor añadido y con una espera. Mediante el gráfico se deja realizar una comparación calificativa entre ambos procesos.

El primer proceso tiene una inversión total del proceso igual a la inversión absoluta del proceso, dado que no tiene ningún proceso anterior. En el PECOTA se puede observar la influencia de los elementos y sus inversiones sobre la inversión total del proceso. Puesto que se marca toda el área de la inversión de un elemento en la curva del PCT del PECOTA, el análisis de la influencia de cada elemento resulta aún más fácil. En este ejemplo, la materia prima y el proceso de valor añadido tienen la mayor influencia sobre el primer proceso.

La inversión total del proceso dos consiste de la inversión absoluta por el proceso dos y la inversión acumulada del proceso dos. Se puede observar en el gráfico que la inversión acumulada del proceso 2 tiene la mayor influencia. Además los elementos de la materia prima y del proceso de valor añadido juegan un papel importante.

La inversión de la fabricación acumulada de un proceso se obtiene al sumar la inversión absoluta y la inversión acumulada del proceso. La inversión total de la fabricación del bien se obtiene al sumar las inversiones acumuladas de la fabricación de los diferentes procesos.

Es importante ver en el gráfico la importancia de la espera. Aunque la inversión absoluta por la espera no es de gran influencia, las inversiones se incrementan considerablemente por la inversión acumulada del proceso.

En el apartado siguiente se definen las relaciones más importantes de la inversión por coste y tiempo.

5.3.7. Aplicación del concepto de la inversión al caso práctico

En el capítulo 5.2.3. se ha descrito el PECOTA y sus elementos. Antes de empezar con la aplicación del concepto de la inversión durante una fabricación al caso práctico descrito en este trabajo sobre la base del PECOTA, vamos a definir las inversiones por los procesos del caso práctico sobre la base de los cálculos del capítulo 5.3.2.1. Sobre la base de las definiciones de los capítulos anteriores, se llega a los valores de las inversiones del caso práctico de la manera siguiente:

$$I_{It} = \sum_{n=1}^{6} I_{Ixac.pro.} + \sum_{n=1}^{6} I_{Ixabs.}$$

igual a

$$I_{It} = I_{I1ac.fab.} + I_{I2ac.fab.} + \ldots + I_{I6ac.fab.}$$
$$= \sum_{n=1}^{6} I_{Inac.fab.}$$

Leyenda:

I_{It}	inversión durante la fabricación total del PCT I
$I_{Ixabs.}$	inversión absoluta del proceso x del PCT I
$I_{Ixac.pro.}$	inversión acumulada del proceso x del PCT I
$I_{Ixac.fab.}$	inversión acumulada de la fabricación del proceso x del PCT I

Cada una de las inversiones de los diferentes procesos consiste de las inversiones por los diferentes elementos de un proceso (la materia prima, los procesos anteriores (única excepción: el primer proceso, ya que, al ser el primero, no existe ninguna inversión por un proceso anterior), el cambio de herramienta, la espera y el proceso de valor añadido).

Como ejemplo calculamos ahora las inversiones del proceso dos del PCT I del caso práctico, utilizando las fórmulas anteriormente presentadas (véase capítulo 5.3.2.1.) al empezar el cálculo de la inversión total del proceso dos del PCT I.

$$I_{I2t} = I_{IMP2} + I_{ICH2} + I_{IVA2} + I_{IES2} + I_{I2ac.pro.} + I_{I1t}$$

igual a

$$I_{I2t} = \int C_{IMP2}(x)\, t_{I2}(x)\, dx + \int C_{ICH2}(x)\, t_{I2}(x)\, dx + \int C_{IVA2}(x)\, t_{IVA2}(x)\, dx + \int C_{IES2}(x)\, t_{IES2}(x)\, dx + C_{I1} \times (t_{I2} - t_{I1}) + I_{I1t}$$

con

$$I_{I1t} = \int C_{IMP1}(x)\, t_{I1}(x)\, dx + \int C_{ICH1}(x)\, t_{I1}(x)\, dx + \int C_{IVA1}(x)\, t_{IVA1}(x)\, dx + \int C_{IES1}(x)\, t_{IES1}(x)\, dx$$

En el capítulo 5.3.2.1. se ha descrito con detalle dicho cálculo y la leyenda de cada uno de los valores.

También en el caso práctico aquí descrito hay que calcular la inversión por cada uno de los elementos en base al tiempo del proceso. Dado que el coste por hora de los diferentes elementos es diferente pero constante para cada uno de los elementos (en el caso práctico, además, con un coste por hora igual para el cambio de herramienta y el proceso de valor añadido), se puede simplificar el cálculo de la inversión para el proceso dos del PCT I a la fórmula siguiente:

$$I_{I2} = I_{IMP2} + I_{ICH2} + I_{IVA2} + I_{IES2} + I_{I2ac.pro.} + I_{I1}$$

$$= (C_{IMP2} \times t_{I2}) + (0{,}5 \times (C_{ICH2} \times t_{I2})) + (0{,}5 \times (C_{IVA2} \times (t_{IVA2} + t_{IES2}))) + (0{,}5 \times C_{IES2} \times t_{IES2}) + (C_{I1} \times (t_{I2} - t_{I1}) + I_{I1}$$

$$I_{I1} = (C_{IMP1} \times t_{I1}) + (0{,}5 \times (C_{ICH1} \times t_{IVA1})) + (0{,}5 \times (C_{IVA1} \times (t_{IVA1} + t_{IES1})) + (0{,}5\, C_{IES1} \times t_{IES1})$$

Al reemplazar las letras por sus valores de los costes y tiempos correspondientes, se llega al resultado siguiente:

$$I_{I2} = (0 \times 0{,}5\ s) + (0{,}5 \times (0 \times 0\ s)) + (0{,}5 \times (42\ € \times (0{,}5\ s + 31{,}2\ s))) + (0{,}5 \times 21{,}5\ € \times 31{,}2) + (187{,}3\ € \times 0{,}50\ s) + I_{I1}$$

con

I_{I1} = (150 € x 17,4 s) + (0,5 x (4,7 € x 17,4 s)) +
(0,5 x (32,6 € x (0,35s + 17))) + (0,5 x 9,5 € x 17 s)

Adaptando el cálculo presentado para el proceso dos a todos los procesos del estado inicial del caso práctico, se obtienen las inversiones totales siguientes:

Proceso	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Inversión absoluta [€h]	***3.332,32***	**1.656,30**	**3.039,55**	***8.373,43***	***7.765,90***	***3.481,71***

€h = euros x horas

Tabla 5.5. Valores de las inversiones absolutas de los procesos de la situación inicial con espera

Leyenda
€h = € x h [euros x horas] = Unidad de la inversión

Como descrito anteriormente, cada inversión acumulada de la fabricación de un proceso incluye la inversión absoluta y la inversión acumulada del proceso. A partir de los resultados demostrados en la tabla 5.5. obtenemos que la inversión absoluta crece hacia el final de la cadena de los procesos. Ahora calculamos los valores de las inversiones acumuladas de los procesos del PCT del estado inicial.

Proceso	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Inversión acumulada proceso [€h]	**0,00**	**6.238,56**	**1.405,62**	**8.588,25**	**29.129,73**	**28.434,51**

€h = euros x horas

Tabla 5.6: Valores de las inversiones acumuladas de los procesos (inicial)

Además se pueden calcular las inversiones acumuladas de la fabricación para cada proceso. Los resultados de dicho cálculo se encuentran en la tabla 5.7.

Proceso	1	2	3	4	5	6
Inversión acumulada fabricación [€h]	3.332,32	7.894,86	4.445,17	16.961,6	36.895,6	31.916,2

€h = euros x horas

Tabla 5.7.: Valores de las inversiones acumuladas de la fabricación (inicial)

En la tabla 5.8. se pueden observar los resultados de los cálculos presentados anteriormente para cada uno de los elementos (por proceso).

Proceso	1	2	3	4	5	6
I_{MPx} [€h]	2.610,00	0,00	2.052,00	4.950,00	0,00	1.287,00
I_{CHx} [€h]	81,66	0,00	121,90	288,12	138,13	0,00
I_{VAx} [€h]	559,91	1.320,90	850,43	2.998,80	7.318,08	1.771,56
I_{ESx} [€h]	80,75	335,40	15,23	136,51	309,70	423,15

€h = euros x horas

Tabla 5.8: Valores de las inversiones por cada elemento (inicial)

Estos cálculos se pueden realizar para cualquier estado y situación. Para completar los resultados del caso práctico, se puede encontrar en la tabla 5.9 los resultados para las inversiones absolutas de la situación II, después del evento de mejora continua.

Proceso	1	2	3	4	5
Inversión absoluta [€h]	3.332,32	524,02	6.614,66	7.737,67	604,96

€h = euros x horas

Tabla 5.9. Valores de las inversiones absolutas (final)

Además se pueden calcular los valores de las inversiones simples después del evento de mejora continua, con lo que se obtienen los valores de la tabla 5.10.

Proceso PCT II	1	2	3	4	5
Inversión acumulada proceso [€h]	0,00	2.302,56	1.380,40	25.546,95	7.129,65

€h = euros x horas

Tabla 5.10. Valores de las inversiones acumuladas de los procesos (final)

Además se pueden calcular las inversiones acumuladas de la fabricación para cada proceso. La tabla correspondiente (tabla 5.11.) figura a continuación.

Proceso	1	2	3	4	5
Inversión acumulada fabricación [€h]	3.332,32	2.826,58	7.995,06	33.284,62	7.734,61

€h = euros x horas

Tabla 5.11. Valores de las inversiones acumuladas de la fabricación (final)

Y finalmente los valores de las inversiones por cada elemento de la situación final.

Proceso	1	2	3	4	5
I_{MPx} [€h]	2.610,00	0,00	5.040,00	0,00	214,50
I_{CHx} [€h]	81,66	0,00	126,50	139,83	0,00
I_{VAx} [€h]	59,91	480,90	1.435,20	7.431,98	372,40
I_{ESx} [€h]	80,75	43,12	12,96	165,87	18,06

€h = euros x horas

Tabla 5.12. Valores de las inversiones por cada elemento (final)

Antes de entrar en el análisis y la evaluación de los valores de las inversiones, vamos a ver los resultados de la aplicación al caso práctico.

Dado que en la mayoría de los casos no interesan los valores absolutos sino las relaciones entre las diferentes inversiones, el cálculo matemático requiere mucho tiempo innecesario. Al realizar el cálculo para el proceso dos del estado inicial del PCT I, se ha demostrado que dicho cálculo no es la solución óptima para un análisis rápido. El PECOTA, con su posibilidad de un análisis visual, promete un análisis más fácil. La ventaja del PECOTA radica en que permite encontrar las influencias de los diferentes elementos de una manera más simple. En el apartado siguiente vamos a ver los resultados del PECOTA.

La figura 5.26. muestra el PCT I con las inversiones totales de los procesos. En el estado inicial, antes del evento de mejora continua, hay seis procesos. En el gráfico están indicados todos los tiempos de cada proceso (t_{I1}: tiempo al terminar el proceso uno del PCT I; t_{I2}: tiempo al terminar el proceso dos del PCT I; t_{I3}: tiempo al terminar el proceso tres del PCT I; t_{I4}: tiempo al terminar el proceso cuatro del PCT I; t_{I5}: tiempo al terminar el proceso cinco del PCT I). Además se han indicado los niveles de los costes correspondientes.

Al marcar cada área de una inversión con un color diferente, se reconoce a primera vista la diferente influencia de cada una de las inversiones de los procesos. Sin mayor dificultad se reconocen las inversiones del proceso cinco como las más importantes. Además, el proceso cuatro juega un papel importante. La inversión elevada del proceso cinco es su inversión acumulada. Esto significa que la elevada inversión durante el proceso cinco se debe, sobre todo, al nivel de coste cuando empieza.

La inversión acumulada de un proceso x se puede dibujar fácilmente en el PECOTA de una fabricación. Partiendo del nivel de coste del proceso anterior, se dibuja una línea horizontal desde que empieza el proceso hasta su final. El área que se obtiene entre la línea trazada y la línea del tiempo t es igual a la inversión acumulada durante un proceso.

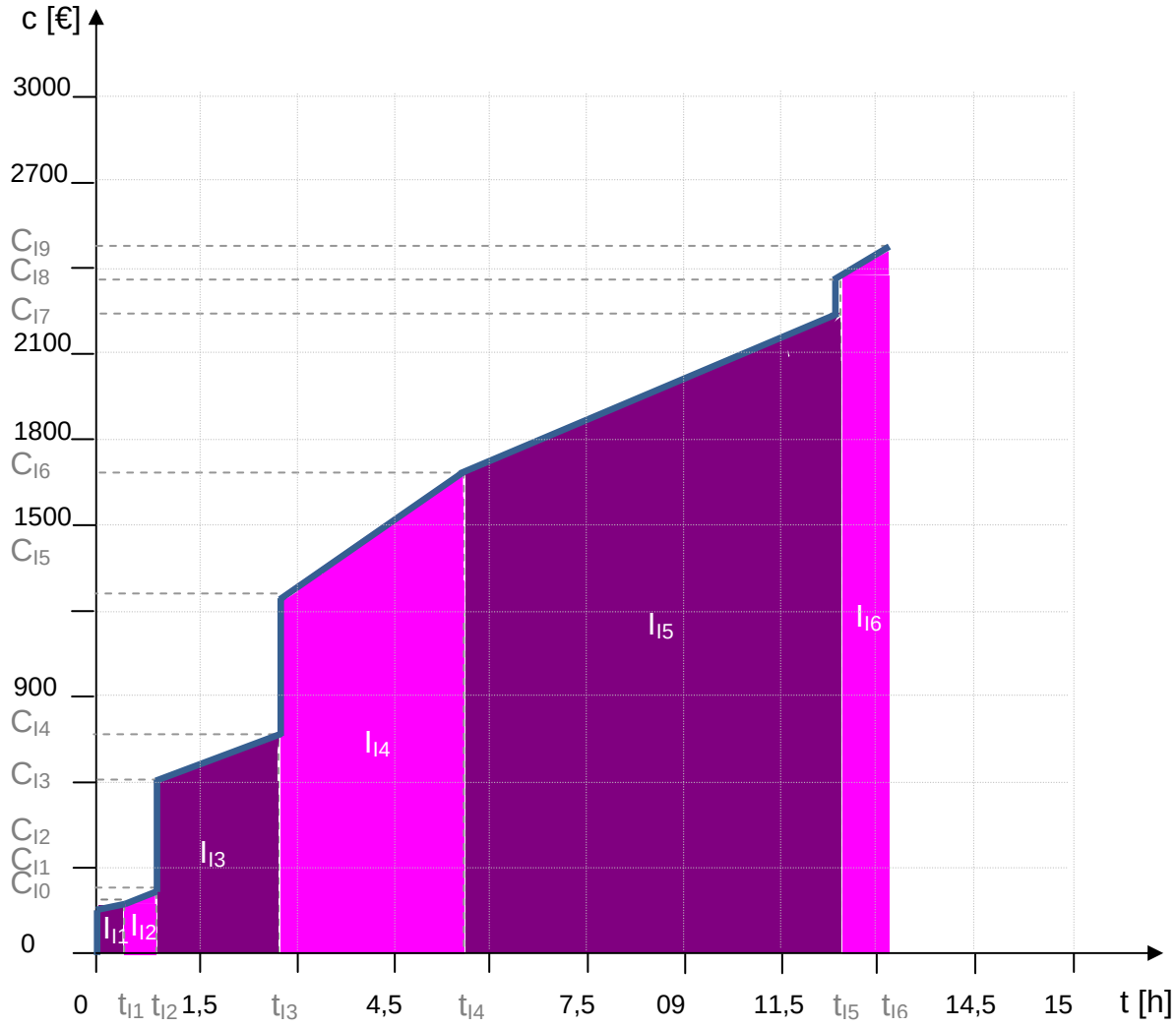


Figura 5.26. PCT I con las inversiones acumuladas

De esta manera pasamos de la figura 5.26. al gráfico de la figura 5.27. En la figura 5.27 se indican las inversiones totales y acumuladas de cada uno de los procesos.

En el gráfico de la figura 5.27. se puede observar, una vez más, el resultado anteriormente descrito. Para el evento de mejora continua del caso práctico era importante bajar el nivel del coste final del proceso cuatro, a fin de poder reducir la inversión acumulada del proceso 5.

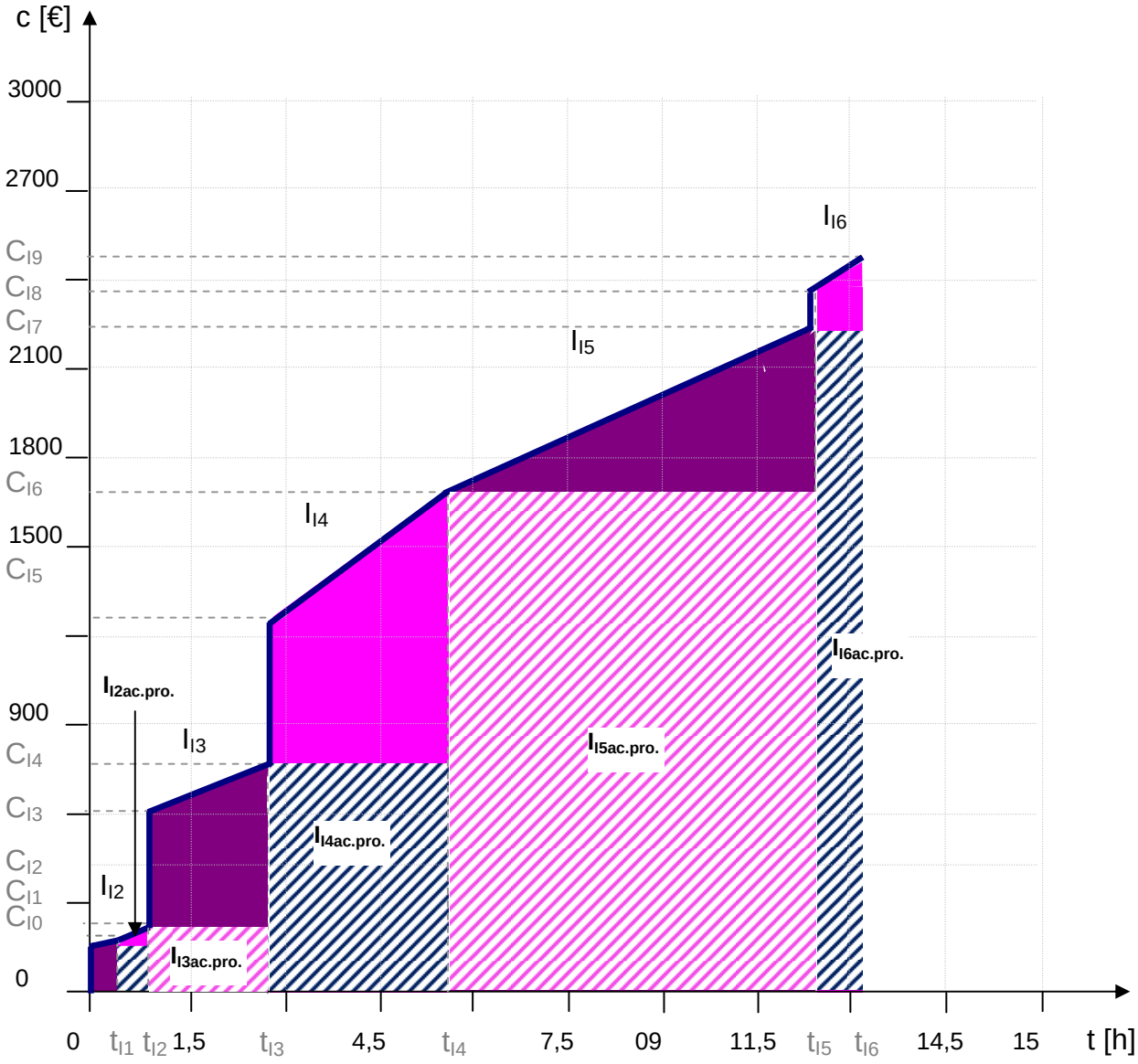


Figura 5.27. PCT I con las inversiones acumuladas de los procesos

Leyenda de la figura 5.27.

t_{I1}	tiempo al terminar el proceso x del PCT I
$t_{I6} = t_{It}$	tiempo al terminar el proceso VI del PCT I
C_{Ix}	diferentes costes de los procesos del PCT I
$C_{I9}=C_{It}$	coste al terminar todos los procesos del PCT I
I_{Ix}	inversión al realizar el proceso X del PCT I
$I_{Ixac.pro.}$	inversión acumulada del proceso x del PCT I

El gráfico de la figura 5.27. demuestra la inversión absoluta de cada proceso en detalle. El PCT I de la figura 5.28. es el más detallado. Este gráfico muestra la inversión por cada elemento antes del evento de mejora continua. Al marcar las diferentes inversiones en diferentes colores, se pueden distinguir bien.

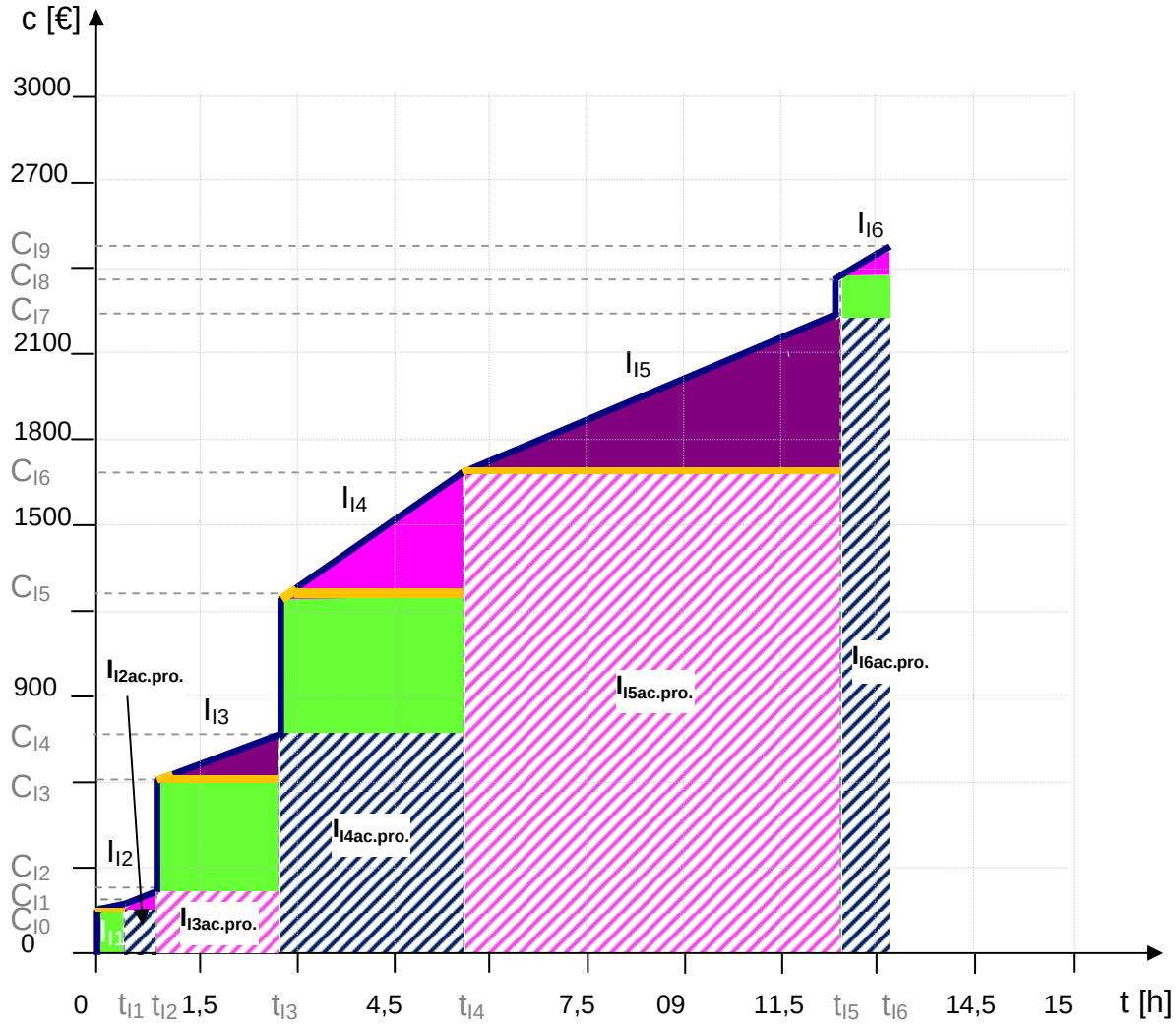


Figura 5.28. PCT I con las inversiones de los elementos

Leyenda de la figura 5.28.

t_{Ix}	tiempo al terminar el proceso x del PCT I
C_{Ix}	diferentes costes de los procesos del PCT I
$C_{I9}=C_{It}$	coste al terminar todos los procesos del PCT I
I_{Ix}	inversión total al realizar el proceso X del PCT I
$I_{Ixac.pro.}$	inversión acumulada del proceso x del PCT I
■	inversión absoluta por la materia prima
■	inversión absoluta por el cambio de la herramienta
■■	inversión absoluta por el proceso de valor añadido

En la figura 5.28. se pueden observar las inversiones por cada uno de los diferentes elementos en el PCT I y su influencia sobre la inversión total de la fabricación del bien. Las inversiones del estado inicial con todos los valores exactos se encuentran en el anexo S. Para poder evaluar los gráficos del PCT I, hay que compararles con los gráficos del PCT II. En el apartado siguiente se encuentran los gráficos correspondientes.

El gráfico del PCT II de las inversiones acumuladas por los procesos después del evento de mejora continua se encuentra en la figura 5.29.

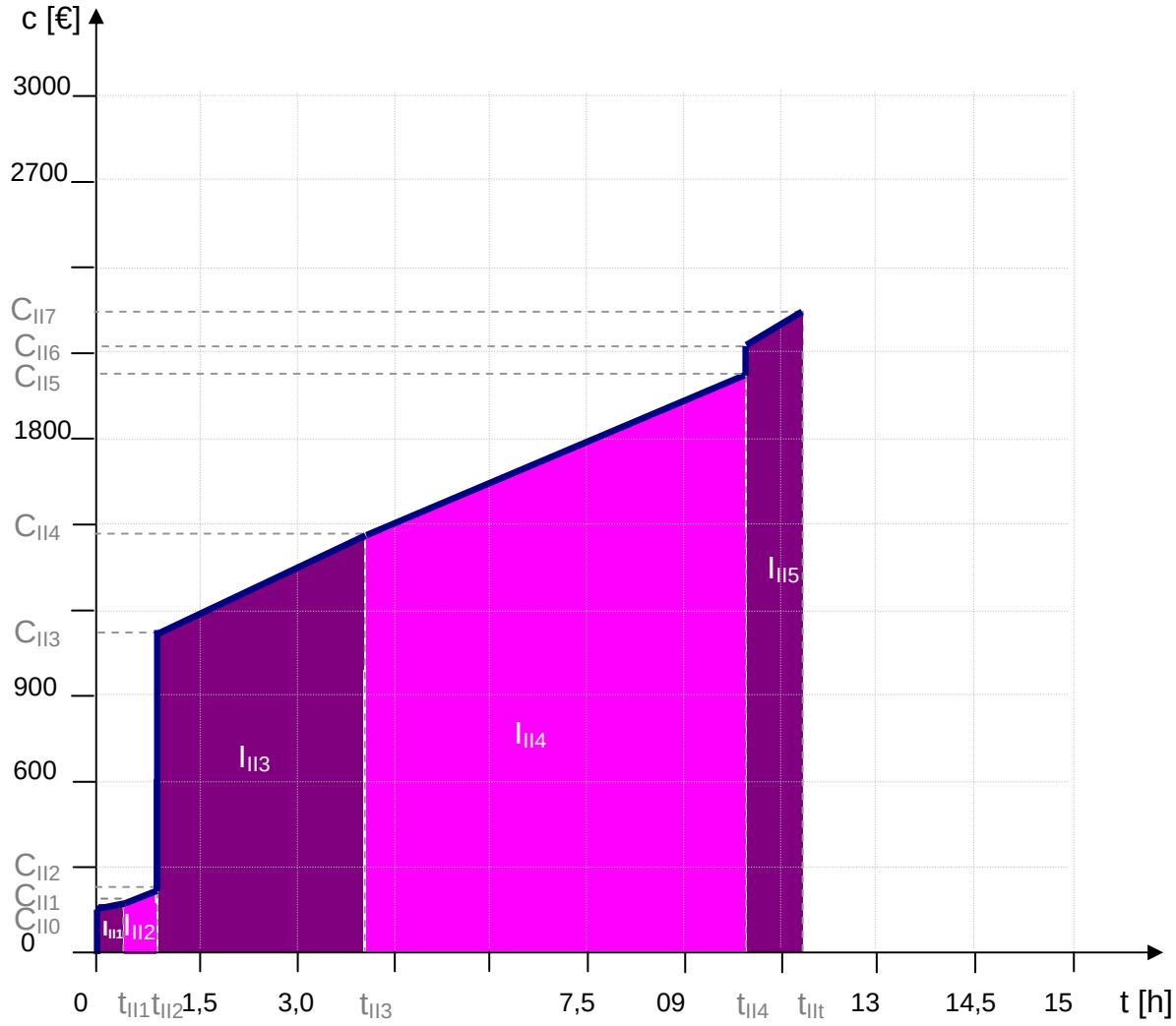


Figura 5.29. PCT II con las inversiones acumuladas

Leyenda de la figura 5.29.

t_{IIx}	tiempo al terminar el proceso x del PCT II
C_{IIx}	costes de diferentes procesos del PCT II
I_{IIx}	inversión total al realizar el proceso X del PCT II

Es importante mencionar que el gráfico de la figura 5.30. representa las inversiones totales de cada proceso, incluyendo la inversión absoluta y la inversión acumulada de cada proceso.

Durante el evento se ha cambiado la fabricación de tal manera que se han incluido los procesos tres y cuatro en un nuevo proceso tres después del evento de mejora continua. Por eso se deben comparar ahora los procesos tres y cuatro del PCT I con el proceso tres del PCT II. De la misma manera hay que comparar el proceso cinco del PCT I con el proceso cuatro del PCT II y el proceso seis del PCT I con el proceso cinco del PCT II.

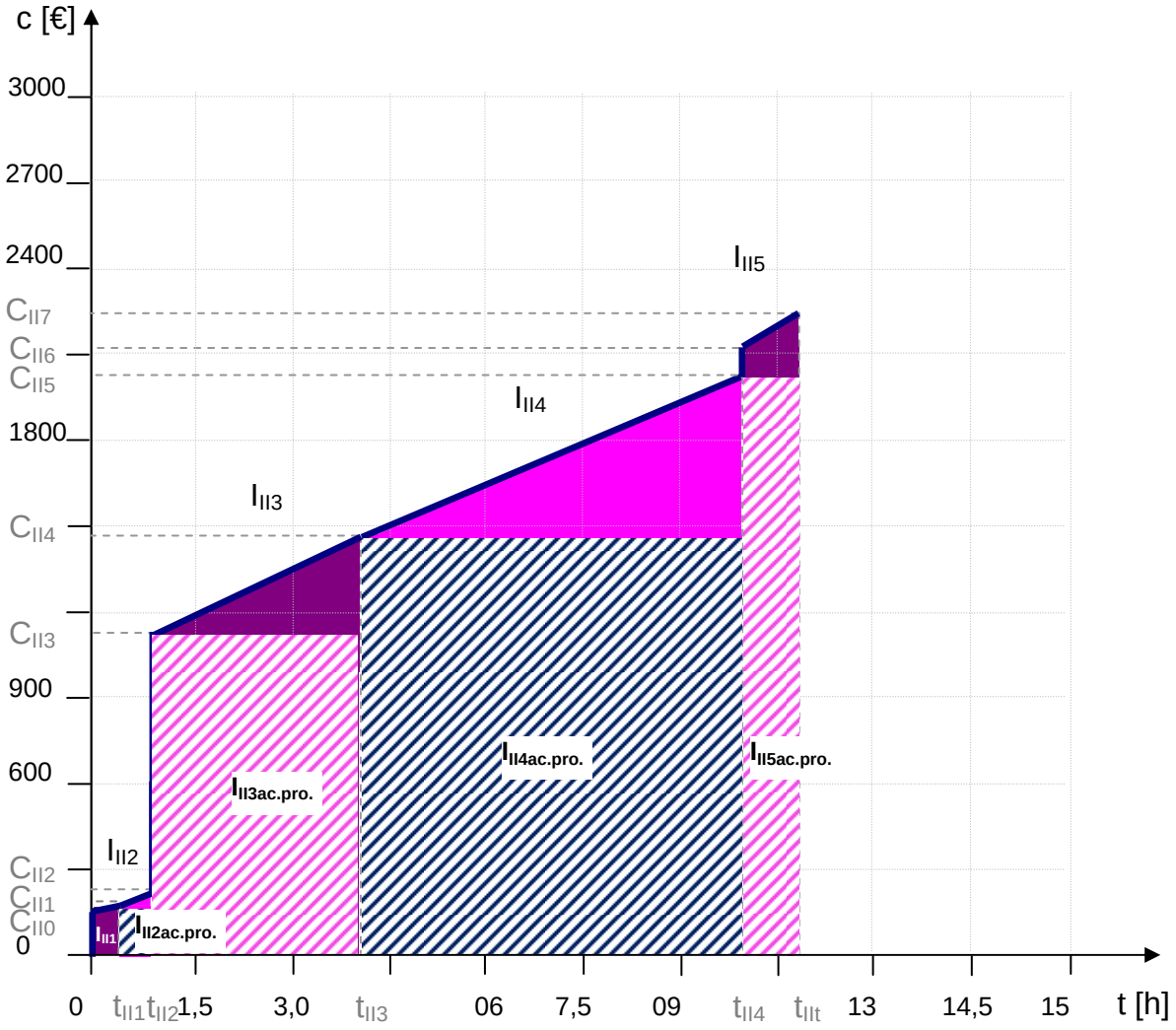


Figura 5.30. PCT II con las inversiones simples

Leyenda de la figura 5.30.

t_{IIx}	tiempo al terminar el proceso x del PCT II
C_{Ix}	costes de diferentes procesos
I_{IIx}	inversión al realizar el proceso X del PCT II
$I_{IIxac.pro.}$	inversión del proceso acumulado del proceso x del PCT II

Comparando los gráficos del PECOTA de las inversiones totales por los procesos antes y después del evento de mejora continua (figura 5.26. y 5.29.), en el primer análisis ya se puede ver la mejora debida a la reducción de la inversión total de la nueva fabricación del bien. Para poder analizar la situación con más detalle, a continuación se encuentra la figura 5.30. con el gráfico del PECOTA de las inversiones acumuladas de cada proceso después del evento de mejora continua, del PCT II.

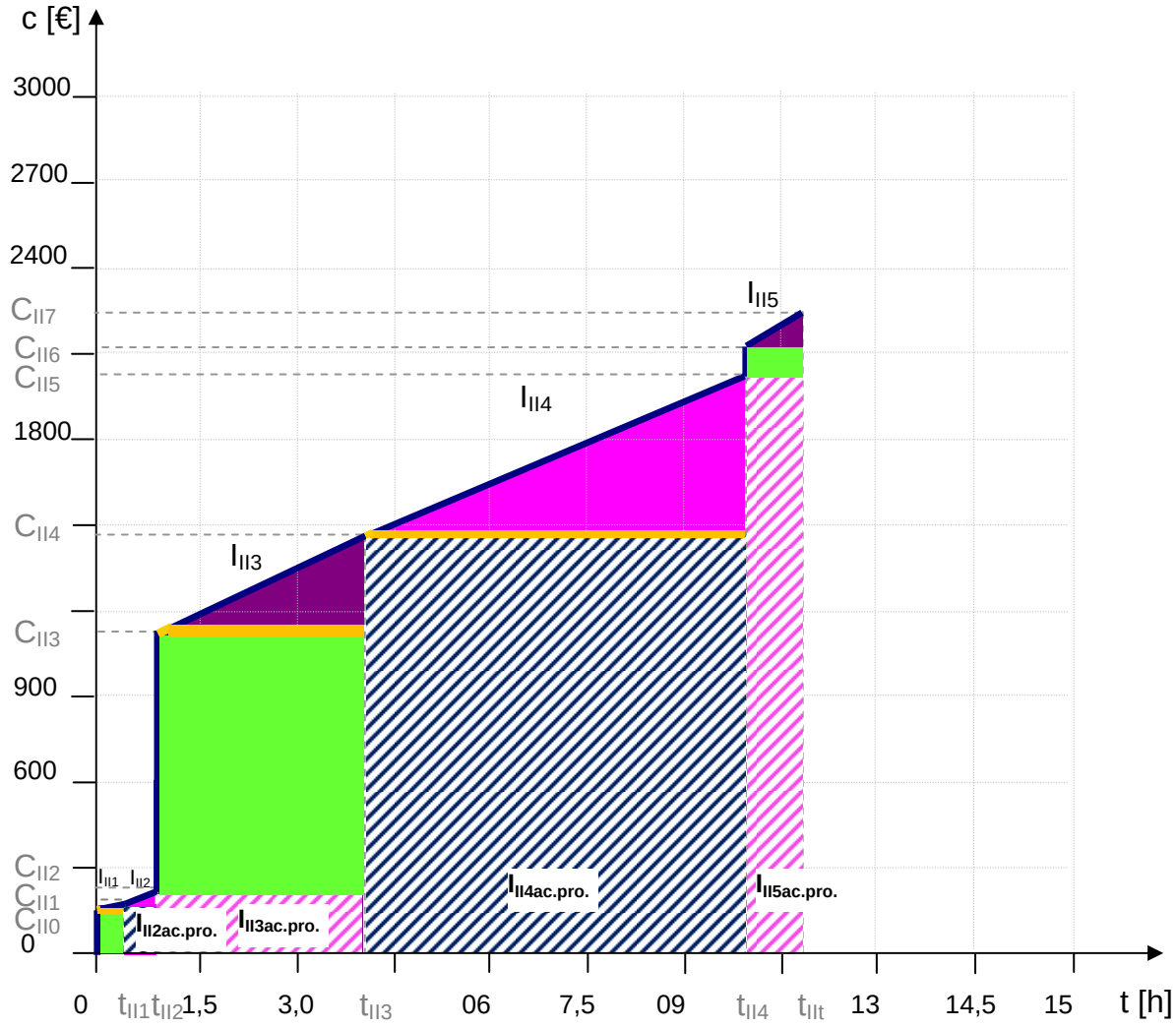


Figura 5.31. PCT II con las inversiones de los elementos

Leyenda de la figura 5.31.

t_{IIx}	tiempo al terminar el proceso x del PCT II
C_{IIx}	diferentes costes de los procesos del PCT II
$C_{II9}=C_{IIt}$	coste al terminar todos los procesos del PCT II
I_{IIx}	inversión total acumulada del proceso x del PCT II
$I_{IIxac.pro.}$	inversión del proceso acumulada del proceso x del PCT II
	inversión por la materia prima del PCT II
	inversión por el cambio de la herramienta del PCT II
	inversión por el proceso de valor añadido del PCT II

El gráfico de la figura 5.30. muestra con claridad las inversiones acumuladas de los procesos del PCT II. Se puede observar fácilmente que se ha podido mejorar el nivel de costes después del proceso tres nuevo, que ha sustituido al proceso tres y al cuatro del PCT I. La inversión del proceso cuatro nuevo del PCT II ($I_{II4ac.pro.}$) se ha reducido considerablemente en comparación con la inversión del proceso cinco del PCT I ($I_{I5ac.pro.}$).

En general se puede decir que se mejora la inversión de un proceso, cuando se puede reducir el nivel de costes en unos de los procesos anteriores.

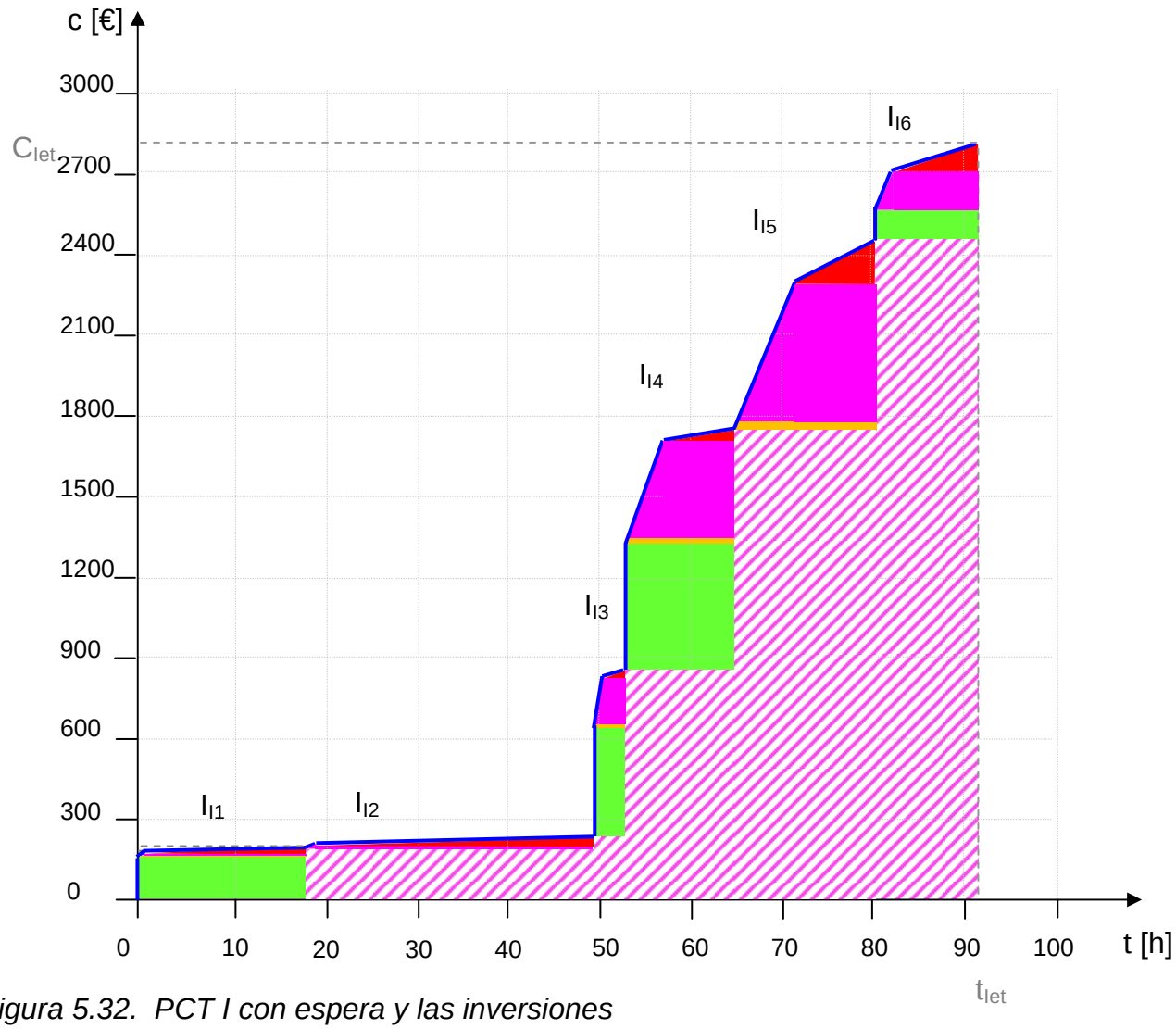


Figura 5.32. PCT I con espera y las inversiones

Leyenda de la figura 5.32.

t_{let}	tiempo al terminar todos los procesos con espera del PCT I
C_{let}	coste total al terminar todos los procesos con espera del PCT I
I_{Ix}	inversión total del proceso x del PCT I
	inversión por la materia prima del proceso x del PCT I
	inversión por el cambio de la herramienta del proceso x del PCT I
	inversión por el proceso de valor añadido del proceso x del PCT I
	inversión acumulada del proceso x del PCT I
	inversión por la espera del proceso x del PCT I

Como último gráfico queda la figura 5.31., que muestra las inversiones de cada proceso por sus elementos en detalle del PCT II.

Los gráficos ayudan a entender relaciones entre las diferentes inversiones de forma más rápida y simple. Los valores exactos de las inversiones del estado final sin espera se encuentran en el anexo T.

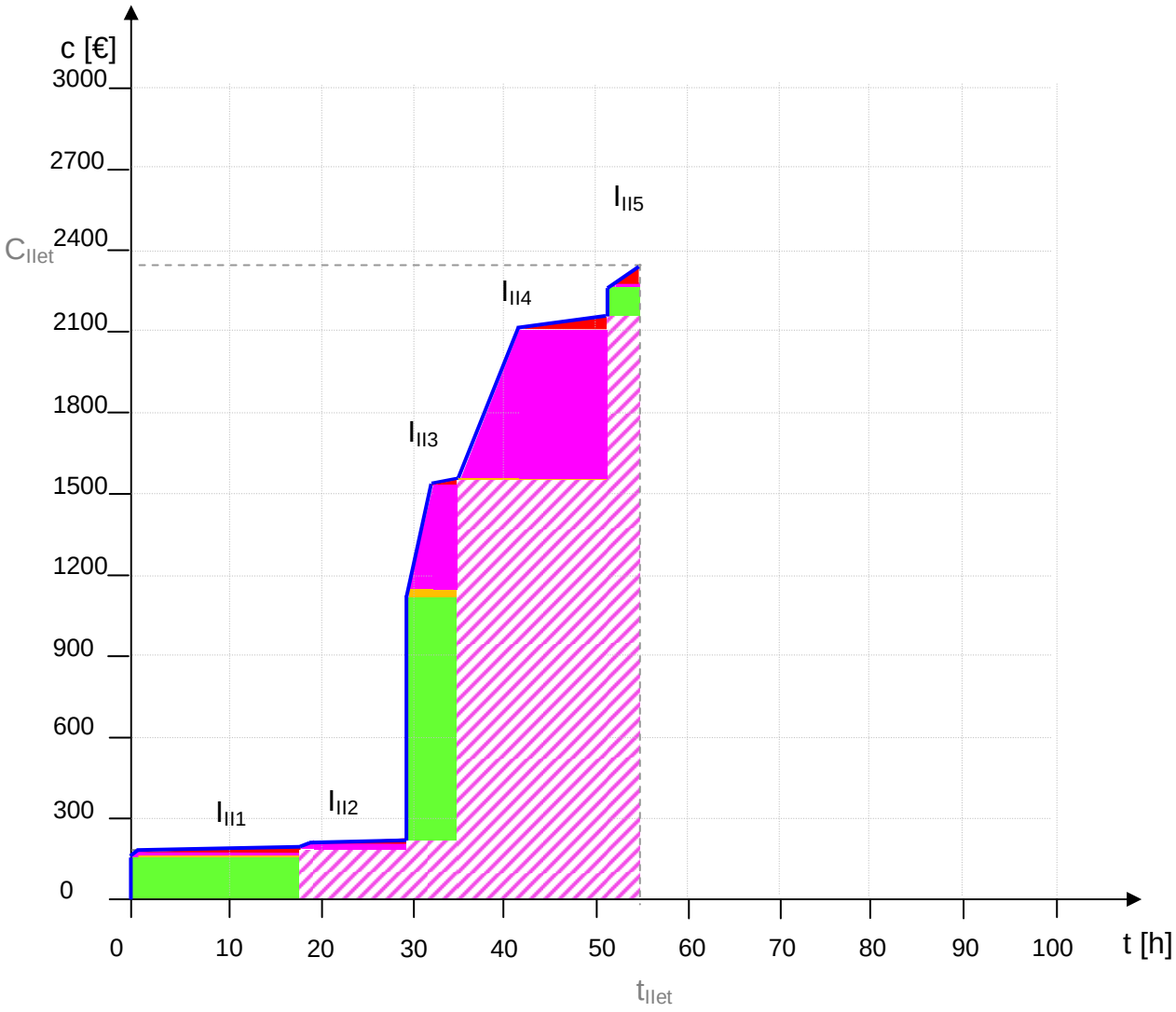


Figura 5.33. PCT II con espera y las inversiones

Leyenda de la figura 5.33.

t_{IIet}	tiempo al terminar todos los procesos con espera del PCT II
C_{IIet}	coste total al terminar todos los procesos con espera del PCT II
I_{IIx}	inversión total del proceso x del PCT II
	inversión por la materia prima del proceso x del PCT II
	inversión por el cambio de la herramienta del proceso x del PCT II
	inversión por el proceso de valor añadido del proceso x del PCT II
	inversión acumulada del proceso x del PCT II
	inversión por la espera del proceso x del PCT II

Hasta ahora se ha demostrado el estado inicial y el estado final del caso práctico sin la espera. Por una parte, es importante incluir la espera, puesto que sólo mediante la introducción del elemento de la espera se puede analizar una fabricación completa o un proceso de ella con todos sus elementos. De otra parte, el análisis resulta más difícil. Al incluir el elemento de la espera, se cambian los

gráficos de tal modo que la espera es el elemento de mayor influencia y los demás elementos son más difíciles de analizar.

Ahora vamos a comparar los gráficos de la inversión del estado inicial con el final incluyendo el elemento de la espera. El gráfico de la figura 5.32. muestra el estado inicial.

Para la comparación de los dos estados, en la figura 5.33. se encuentra el PCT II con las inversiones de los elementos, incluyendo la espera.

Sin ningún cálculo adicional se puede ver la gran diferencia entre los dos estados respecto a la espera. Como se ha mencionado anteriormente, el análisis de los elementos cambio de herramienta y materia prima y, especialmente, del proceso de valor añadido resulta más difícil. En el caso práctico aquí descrito resulta casi imposible analizar y evaluar los procesos uno y dos de los dos estados al incluir la espera.

Al comparar el proceso dos del estado inicial con el proceso dos del estado final, se puede ver cómo cambia la inversión sólo por el cambio de la espera. El proceso de cambio de herramienta y el proceso de valor añadido no se han cambiado. Al reducir la espera de un estado al otro, se ha mejorado considerablemente la inversión total por el proceso dos. En general se pueden ver desarrollos parecidos también entre los demás procesos.

En la tabla siguiente encontramos al final los valores exactos de las inversiones del estado inicial (tabla 5.13.) y final (tabla 5.14.) con espera para compararlos con los resultados del análisis visual en el PECOTA anterior.

	P_{I1}	P_{I2}	P_{I3}	P_{I4}	P_{I5}	P_{I6}	∑ PECOTA I
t_{ICHx}	0,05	0,00	0,20	0,20	0,10	0,00	0,55
t_{IVAx}	0,35	0,50	1,70	2,40	6,70	1,20	12,85
t_{IESx}	17,00	31,20	3,50	7,30	9,50	10,50	79,00
t_{Ixep}	17,40	31,70	5,40	9,90	16,30	11,70	92,40
$C_{I(x-1)t}$	0,00	196,80	260,30	867,50	1.787,10	2.430,30	
C_{IMPx}	150,00	0,00	380,00	500,00	0,00	110,00	1.140,00
C_{ICHx}	4,70	0,00	23,00	29,40	8,50	0,00	65,60
C_{IVAx}	32,60	42,00	195,50	352,80	569,50	159,60	1.352,00
C_{IESx}	9,50	21,50	8,70	37,40	65,20	80,60	222,90
İalmacén hora	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	
$C_{IVAx} + C_{ICHx} + C_{IMPx} + C_{IESx}$	196,80	63,50	607,20	919,60	643,20	350,20	
C_{Ixept}	196,80	260,30	867,50	1.787,10	2.430,30	2.780,50	
I_{IMPx}	**2.610,00**	**0,00**	**2.052,00**	**4.950,00**	**0,00**	**1.287,00**	**10.899,00**
I_{ICHx}	**81,66**	**0,00**	**121,90**	**288,12**	**138,13**	**0,00**	**629,81**
I_{IVAx}	**559,91**	**1.320,90**	**850,43**	**2.998,80**	**7.318,08**	**1.771,56**	**14.819,67**
I_{IESx}	**80,75**	**335,40**	**15,23**	**136,51**	**309,70**	**423,15**	**1.300,74**
$I_{Ixeabs.}$	**3.332,32**	**1.656,30**	**3.039,55**	**8.373,43**	**7.765,90**	**3.481,71**	**27.649,21**
$I_{Ixeac.pro.}$	**0,00**	**6.238,56**	**1.405,62**	**8.588,25**	**29.129,73**	**28.434,51**	**73.796,67**
$I_{Ixeac.fab.}$	**3.332,32**	**7.894,86**	**4.445,17**	**16.961,68**	**36.895,63**	**31.916,22**	**101.445,88**
$I_{Iteac.fab.}$	**3.332,32**	**11.227,18**	**15.672,35**	**32.634,03**	**69.529,66**	**101.445,88**	

Tabla 5.13. Valores exactos de las inversiones iniciales con espera

	P_{II1}	P_{II2}	P_{II3}	P_{II4}	P_{II5}	∑ PECOTA I
t_{IICHx}	0,05	0,00	0,20	0,10	0,00	0,35
t_{IIVAx}	0,35	0,50	3,00	6,70	1,00	11,55
t_{IIESx}	17,00	11,20	2,40	9,70	2,30	42,60
t_{IIxep}	17,40	11,70	5,60	16,50	3,30	54,50
$C_{II(x-1)t}$	0,00	196,80	246,50	1.548,30	2.160,50	
C_{IIMPx}	150,00	0,00	900,00	0,00	65,00	1.115,00
C_{IICHx}	4,70	0,00	23,00	8,50	0,00	36,20
C_{IIVAx}	32,60	42,00	368,00	569,50	133,00	1.145,10
C_{IIESx}	9,50	7,70	10,80	34,20	15,70	77,90
¡almacén hora	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	
$C_{IIVAx} + C_{IICHx} + C_{IIMPx} + C_{IIESx}$	196,80	49,70	1.301,80	612,20	213,70	
C_{IIxept}	196,80	246,50	1.548,30	2.160,50	2.374,20	
I_{IIMPx}	**2.610,00**	**0,00**	**5.040,00**	**0,00**	**214,50**	**7.864,50**
I_{IICHx}	**81,66**	**0,00**	**126,50**	**139,83**	**0,00**	**347,99**
I_{IIVAx}	**559,91**	**480,90**	**1.435,20**	**7.431,98**	**372,40**	**10.280,38**
I_{IIESx}	**80,75**	**43,12**	**12,96**	**165,87**	**18,06**	**320,76**
$I_{IIxeabs.}$	**3.332,32**	**524,02**	**6.614,66**	**7.737,67**	**604,96**	**18.813,62**
$I_{IIxeac.pro.}$	**0,00**	**2.302,56**	**1.380,40**	**25.546,95**	**7.129,65**	**36.359,56**
$I_{IIxeac.fab.x}$	**3.332,32**	**2.826,58**	**7.995,06**	**33.284,62**	**7.734,61**	**55.173,18**
$I_{IIteac.fab.t}$	**3.332,32**	**6.158,90**	**14.153,96**	**47.438,58**	**55.173,18**	

Tabla 5.14. Valores exactos de las inversiones finales con espera

Como resultado de los gráficos anteriores del PECOTA de los diferentes estados y de las diferentes inversiones del caso práctico, cabe destacar que en cualquier PCT resulta muy fácil analizar las importancias más relevantes de las inversiones y encontrar los elementos de mayor influencia sobre el coste y el tiempo. Especialmente al comparar las tablas de los valores exactos de las tablas 5.13. y 5.14. con el PECOTA, se puede destacar que el análisis mediante el PECOTA resulta más cómodo. Siempre se debe tener en cuenta que no importan demasiado los valores exactos sino su importancia relativa. Dado que falta una referencia absoluta para evaluar un valor exacto, es importante conocer las inversiones más significativas de cada proceso y de la fabricación en total en función del elemento de proceso.

Para una comparación basada en el PECOTA como base de análisis y evaluación profunda, se puede recomendar entonces:

- un gráfico PCT sin espera para un análisis más detallado de los costes de los procesos
- un gráfico PCT con espera para un análisis más detallado de los tiempos y un análisis cualitativo de los costes.

En ambos casos no se debe olvidar el efecto sobre el coste y el tiempo de la espera. Todas las inversiones anteriormente presentadas se pueden relacionar entre ellas. En el apartado siguiente vamos a describir las relaciones más significativas y compararlas con los resultados de los gráficos anteriormente presentados.

5.3.8. Relaciones entre las inversiones

Durante la definición de la inversión en coste y tiempo se ha descrito en el capítulo anterior que dicha inversión representa el gasto en recursos por parte de la empresa para la fabricación de un determinado bien. Teniendo en cuenta que hay

que optimizar y minimizar al máximo posible esa inversión, se llega a la necesidad de su análisis profundo. Dado que existe la posibilidad de relacionar las diferentes inversiones entre ellas, se pueden encontrar relaciones de referencia para una empresa en especial o para sectores industriales en general. A continuación se desarrollan las relaciones más relevantes.

5.3.8.1. Relación de la inversión total

La relación de la inversión total describe la mejora respecto a la inversión total entre los dos estados de la fabricación. Una reducción de la inversión total equivale a una mejora respecto al estado anterior (que significa una mejora en la productividad). Mediante la aplicación al caso práctico (incluyendo la espera) se calcula la relación de las inversiones totales. La inversión total del PCT I, en el estado inicial, es de

$$I_{Iteac.fab.t} = 101.445,88 \text{ €h}$$

La inversión total del PCT II, en el estado final (después del evento de mejora continua), es de

$$I_{IIteac.fab.t} = 55.173,18 \text{ €h}$$

La relación de las dos inversiones totales con espera ($R_{I/IIeac.fab.t}$) se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$R_{I/IIteac.fab.} = I_{Iteac.fab.} / I_{IIteac.fab.}$$

Introduciendo los valores de las inversiones del PCT I y del PCT II, se obtiene la ecuación siguiente.

$$R_{I/IIteac.fab.} = 101.445,88 \text{ €h} / 55.173,18 \text{ €h} = 1,84$$

El resultado de $R_{I/IIteac.fab.}$ es igual a la nueva inversión, en la que hay que sumar un 84% para llegar a la inversión antigua. Dicho de otra manera se puede afirmar que se ha reducido la inversión total casi un 50%.

El cálculo de la comparación de las dos inversiones totales se puede realizar no sólo para la fabricación en total sino también para cualquier proceso singular. De esta manera se podrían comparar también los cambios de cada uno de los procesos. En el caso práctico se ha eliminado un proceso. Así se pueden comparar los procesos de la fabricación que realizan una tarea equivalente. Para el estado inicial elegimos los procesos tres y cuatro, mientras que para el estado final (después del evento de mejora continua) el proceso tres. Mediante los valores de las inversiones acumuladas durante los procesos tres y cuatro del estado inicial y el proceso tres del estado final, llegamos al resultado siguiente:

$$I_{I3eac.fab} = 4.445,17 \text{ €h}$$

$$I_{I4ac.fab.} = 16.961,68 \text{ €h}$$

$$I_{II3ac.fab.} = 7.995,06 \text{ €h}$$

llegando a la relación

$$R_{I/IIeac.fab.(3,4/3)} = (I_{I3eac.fab} + I_{I4eac.fab.}) / I_{II3eac.fab.} = 2,68$$

La relación anteriormente calculada significa que, al modificar el proceso de fabricación, se ha desarrollado un proceso con una inversión acumulada por el proceso de sólo un 27% del valor inicial.

Esta relación es un ejemplo entre varios de cómo se pueden comparar las diferentes inversiones de los estados. En general es aconsejable que la mejora de las diferentes inversiones sea mayor al 5 %, lo que equivale a una relación:

$$R_{Ix/IIx} > 1,05$$

El valor de la mejora de un 5 % viene dado por el hecho de que un evento de mejora continua requiere recursos y, por tanto, representa un coste, a diferencia de una pequeña mejora conseguida mediante alguna idea durante el trabajo día a día. Por el otro lado, no es igual a una innovación (véase capítulo 2.2.3.), por lo que el valor fijado no debería elevarse demasiado.

5.3.8.2. Relaciones entre los elementos

Unas de las relaciones más importantes son las relaciones entre los dos estados de los elementos de un proceso x. Estas relaciones se puede formar o bien entre dos proceso de diferentes estados o bien por la suma de las inversiones por el elemento durante la fabricación total al comparar dos estados. En los capítulos siguientes se presentan las relaciones de los elementos materia prima, cambio de herramienta, proceso de valor añadido y espera. Cada relación de los capítulos siguientes está descrita como la relación de dos inversiones de dos procesos de diferentes estados. Además se indica para cada relación si es posible fijar un valor de orientación general.

Relación de la inversión por materia prima

La relación muestra la evolución de la materia prima entre los dos estados. La relación se puede calcular mediante la fórmula siguiente:

$$R_{I/IIeMPx} = I_{IMPx} / I_{IIMPx}$$

La relación anteriormente definida puede ser útil, cuando el objetivo de un evento de mejora continua es incrementar o disminuir la materia prima o productos semiacabados utilizados para la realización de un producto. La relación puede servir para analizar las posibles realizaciones internas o externas en el proceso de fabricación de un bien.

El valor de la relación suele estar definido en el evento de mejora continua como objetivo del evento. Dado que se trata de un valor muy específico, no se puede establecer un valor como meta general.

Relación de la inversión por cambio de herramienta

La relación muestra la evolución del cambio de herramienta entre los dos estados y se puede calcular mediante la fórmula siguiente:

$$R_{I/IIeCHx} = I_{ICHx} / I_{IICHx}$$

La relación anteriormente definida puede ser útil, cuando el objetivo de un evento de mejora continua es la reducción de los cambios de herramienta necesarios para la realización de un producto.

El valor de la relación suele estar definido en el evento de mejora continua como objetivo. Dado que se trata de un valor muy específico, no se puede establecer un valor como meta general.

Relación de la inversión por el proceso de valor añadido

La relación muestra la evolución de los procesos de valor añadido entre los dos estados y se puede calcular mediante la fórmula siguiente:

$$R_{I/IIeVAx} = I_{IVAx} / I_{IIVAx}$$

La relación anteriormente definida puede ser útil, cuando el objetivo de un evento de mejora continua es la reducción necesaria de recursos de coste o tiempo durante los procesos de valor añadido.

El valor de la relación suele estar definido en el evento de mejora continua como objetivo del evento. Dado que se trata de un valor muy específico, no se puede establecer un valor como meta general.

Relación de la inversión por la espera

La relación muestra la evolución de la espera entre los dos estados y el cambio de herramienta. La relación se puede calcular mediante la fórmula siguiente:

$$R_{I/IIESx} = I_{IESx} / I_{IIESx}$$

La relación anteriormente definida siempre es útil, dado que representa la relación entre la espera de los dos estados.

El valor de la relación suele estar definido en el evento de mejora continua como objetivo del evento. Dado que se trata de un valor muy específico, no se puede establecer un valor como meta general.

5.3.8.3. Otras posibles relaciones de la inversión

Las relaciones presentadas en los capítulos 5.3.8.1. y 5.3.8.2. son sólo algunas de las varias relaciones posibles entre diferentes inversiones. Se puede ver que es difícil fijar metas para las relaciones, ya que ello depende del caso específico de la fabricación tratada.

El número total de relaciones es casi ilimitado. En este trabajo se ha limitado a trabajar con las relaciones anteriormente presentadas. Además, se pueden establecer las relaciones siguientes para cada uno de los elementos de un proceso. Como el cálculo de cada relación es igual al cálculo presentado en los capítulos anteriores y estas relaciones son de menor importancia para este trabajo, no se describen con más detalle (y tampoco existen valores de referencia hasta ahora).

- Relación de la inversión por la materia prima y del cambio de herramienta del proceso x (estado inicial/final)

- Relación de la inversión por la materia prima y del proceso de valor añadido del proceso x (estado inicial/final)
- Relación de la inversión por la materia prima y de la espera del proceso x (estado inicial/final)
- Relación de la inversión por la materia prima y de la inversión absoluta del proceso x (estado inicial/final)
- Relación de la inversión por la materia prima y de la inversión acumulada del proceso x (estado inicial/final)
- Relación de la inversión por la materia prima y de la inversión acumulada de la fabricación del proceso x (estado inicial/final)
- Relación de la inversión por la materia prima del proceso x y de la inversión de la fabricación total (estado inicial/final)

Como se ha descrito anteriormente, cada una de las relaciones mencionadas se pueden establecer también con cualquier otro elemento de un proceso. Desde el punto de vista del autor, las relaciones más relevantes son las que demuestran la mejora de un nuevo estado de fabricación. De este modo es aconsejable evaluar siempre las referencias de los elementos entre los estados y con la fabricación total. Además hay que analizar la relación de los dos estados de la fabricación total. De esta manera se puede ver el comportamiento de cada elemento por los procesos y el cambio total.

Además de las relaciones mostradas en la tabla 5.15., se pueden desarrollar relaciones con más de una variable por estado, como se ha demostrado también en el capítulo 5.2.3. (cambio de herramienta y proceso de valor añadido).

	P_{I1}	P_{I2}	P_{I3}	P_{I4}	P_{I5}	P_{I6}	P_{II1}	P_{II2}	P_{II3}	P_{II4}	P_{II5}
Relación MP/CH = $R_{I/IIeMPCHx}$	31,96	0	16,83	17,18	0,00	0	31,96	0	39,84	0,00	0
Relación MP/VA = $R_{I/IIeMPVAx}$	4,66	0,00	2,41	1,65	0,00	0,73	4,66	0,00	3,51	0,00	0,58
Relación MP/ES = $R_{I/IIeMPESx}$	32,32	0,00	134,78	36,26	0,00	3,04	32,32	0,00	388,89	0,00	11,88
Relación MP/abs. = $R_{I/IIeMPabs.x}$	0,78	0,00	0,68	0,59	0,00	0,37	0,78	0,00	0,76	0,00	0,35
Relación MP/ac.pro. = $R_{I/IIeMPac.pro.x}$	0	0,00	1,46	0,58	0,00	0,05	0	0,00	3,65	0,00	0,03
Relación MP/ac.fab.x = $R_{I/IIeMPac.fab.x}$	0,78	0,00	0,46	0,29	0,00	0,04	0,78	0,00	0,63	0,00	0,03
Relación MP/ac.fab.t = $R_{I/IIeMPac.fab.t}$	0,78	0,00	0,13	0,15	0,00	0,01	0,78	0,00	0,36	0,00	0,00
Relación CH/MP = $R_{I/IIeCHMPx}$	0,03	0	0,06	0,06	0	0,00	0,03	0	0,03	0	0,00
Relación CH/VA = $R_{I/IIeCHVAx}$	0,15	0,00	0,14	0,10	0,02	0,00	0,15	0,00	0,09	0,02	0,00
Relación CH/ES = $R_{I/IIeCHESx}$	1,01	0,00	8,01	2,11	0,45	0,00	1,01	0,00	9,76	0,84	0,00
Relación CH/abs. = $R_{I/IIeCHabs.x}$	0,02	0,00	0,04	0,03	0,02	0,00	0,02	0,00	0,02	0,02	0,00
Relación CH/ac.pro. = $R_{I/IIeCHac.pro.x}$	0	0,00	0,09	0,03	0,00	0,00	0	0,00	0,09	0,01	0,00
Relación CH/ac.fab.x = $R_{I/IIeCHac.fab.x}$	0,02	0,00	0,03	0,02	0,00	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,00
Relación CH/ac.fab.t = $R_{I/IIeCHac.fab.t}$	0,02	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00
Relación VA/MP = $R_{I/IIeVAMPx}$	0,21	0	0,41	0,61	0	1,38	0,21	0	0,28	0	1,74
Relación VA/CH = $R_{I/IIeVACHx}$	6,86	0	6,98	10,41	52,98	0	6,86	0	11,35	53,15	0
Relación VA/ES = $R_{I/IIeVAESx}$	6,93	3,94	55,86	21,97	23,63	4,19	6,93	11,15	110,74	44,81	20,63
Relación VA/abs. = $R_{I/IIeVAabs.x}$	0,17	0,80	0,28	0,36	0,94	0,51	0,17	0,92	0,22	0,96	0,62
Relación VA/ac.pro. = $R_{I/IIeVAac.pro.x}$	0	0,21	0,61	0,35	0,25	0,06	0	0,21	1,04	0,29	0,05
Relación VA/ac.fab.x = $R_{I/IIeVAac.fab.x}$	0,17	0,17	0,19	0,18	0,20	0,06	0,17	0,17	0,18	0,22	0,05
Relación VA/ac.fab.t = $R_{I/IIeVAac.fab.t}$	0,17	0,12	0,05	0,09	0,11	0,02	0,17	0,08	0,10	0,16	0,01
Relación ES/MP = $R_{I/IIeESMPx}$	0,03	0	0,01	0,03	0	0,33	0,03	0	0,00	0	0,08
Relación ES/CH = $R_{I/IIeESCHx}$	0,99	0	0,12	0,47	2,24	0	0,99	0	0,10	1,19	0
Relación ES/VA = $R_{I/IIeESVAx}$	0,14	0,25	0,02	0,05	0,04	0,24	0,14	0,09	0,01	0,02	0,05
Relación ES/abs. = $R_{I/IIeESabs.x}$	0,02	0,20	0,01	0,02	0,04	0,12	0,02	0,08	0,00	0,02	0,03
Relación ES/ac.pro. = $R_{I/IIeESac.pro.x}$	0	0,05	0,01	0,02	0,01	0,01	0	0,02	0,01	0,01	0,00
Relación ES/ac.fab.x = $R_{I/IIeESac.fab.x}$	0,02	0,04	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00
Relación ES/ac.fab.t = $R_{I/IIeESac.fab.t}$	0,02	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
Relación abs./pro.ac. = $R_{I/IIeabs.ac.pro.}$	0	0,27	2,16	0,97	0,27	0,12	0	0,23	4,79	0,30	0,08
Relación abs./ac.fab.x = $R_{I/IIeabs.ac.fab.x}$	1,00	0,21	0,68	0,49	0,21	0,11	1,00	0,19	0,83	0,23	0,08
Relación abs./fab.t = $R_{I/IIeabs.ac.fab.t}$	1,00	0,15	0,19	0,26	0,11	0,03	1,00	0,09	0,47	0,16	0,01
Relación ac.pro./abs. = $R_{I/IIeac.pro.abs.}$	0,00	3,77	0,46	1,03	3,75	8,17	0,00	4,39	0,21	3,30	11,79
Relación ac.pro./ac.fab.x = $R_{I/IIeac.pro.ac.fab.x}$	0,00	0,79	0,32	0,51	0,79	0,89	0,00	0,81	0,17	0,77	0,92
Relación ac.pro./fab.t = $R_{I/IIeac.pro.ac.fab.t}$	0,00	0,56	0,09	0,26	0,42	0,28	0,00	0,37	0,10	0,54	0,13
Relación ac.fab.x/abs. = $R_{I/IIeac.fab.x.abs.}$	1,00	4,77	1,46	2,03	4,75	9,17	1,00	5,39	1,21	4,30	12,79
Relación ac.fab.x/ac.pro. = $R_{I/IIeac.fab.xac.pro.}$	0	1,27	3,16	1,97	1,27	1,12	0	1,23	5,79	1,30	1,08
Relación ac.fab.x/fab.t = $R_{I/IIeac.fab.xac.fab.t}$	1,00	0,70	0,28	0,52	0,53	0,31	1,00	0,46	0,56	0,70	0,14

Tabla 5.15. Matriz de las relaciones con espera del caso práctico

Este trabajo se limita a la presentación de unas relaciones básicas que suelen ser de gran interés para cualquier tipo de fabricación. Aun así, el usuario siempre puede desarrollar unas relaciones nuevas, si en su caso especial es de gran interés otra relación.

Si comparamos estas relaciones de las inversiones, se puede ver que se orientan por las relaciones encontradas en el capítulo 5.2.3. de los elementos de la inversión. Dado que la inversión se basa en dichos elementos, se comprende que las relaciones de las inversiones tienen que ser de la misma forma.

Para demostrar la gran variedad de posibles relaciones al comparar los estados con espera, obsérvese la tabla 5.15.

Aparte de este cálculo, en el anexo U. se pueden observar las tablas para los estados sin espera correspondientes.

5.3.8.4. Metas para las relaciones totales

Como se ha descrito en el capítulo 5.3.8.3, las relaciones muestran el cambio de la productividad de un estado a otro. Además se puede calcular la influencia en coste y tiempo de cada uno de los elementos de un proceso (espera, cambio de herramienta, materia prima y proceso de valor añadido).

La inversión por la materia prima depende en especial del bien producido y de la estrategia de la fabricación (fabricación externa/interna y fabricación para un almacén/a pedido del cliente). Cuanto menor sea su influencia, tanto más fácil será para una empresa mejorar su rendimiento en la fabricación de un bien. Si incluyésemos metas para la materia prima estableceríamos metas específicas para un caso muy concreto. Pero como que en este trabajo queremos establecer metas generales para el sector industrial productivo, no definiremos metas para el elemento de la materia prima.

Teniendo en cuenta lo definido con anterioridad, se llega a las definiciones siguientes:

- Inversión por espera:

$$R_{YtESac.fab.} < 5\%$$

  La inversión por la espera total debe ser menor al 5% de la inversión total de la fabricación total acumulada del PCT Y.

- Inversión por el cambio de herramienta:

$$R_{YteCHac.fab.} < 1\%$$

  La inversión por el cambio de herramienta total debe ser menor al 1% de la inversión total de la fabricación total acumulada del PCT Y.

- Inversión por el proceso de valor añadido:

$$R_{YeCHt/Yt} > 94\%$$

  La inversión por el proceso de valor añadido total debe ser mayor al 94 % de la inversión total de la fabricación total acumulada del PCT Y.

Para dicha definición no se tiene en cuenta la influencia de la materia prima. Como se ha mencionado anteriormente, dicha influencia depende de la estrategia elegida de la fabricación.

Para las relaciones de fabricaciones totales en las cuales se ha modificado sólo una parte de los procesos, no hay un valor general establecido. En este caso hablamos, por ejemplo, o bien de la realización de un evento de mejora continua sólo de una máquina grande o bien de la comparación de unos procesos únicos de fabricación para una pieza de un solo componente. La mejora en los procesos de la realización de este elemento no puede significar siempre una mejora de un 5% de la inversión total de la máquina. Aun así, el concepto de la inversión permite analizar también la mejora importante de un subproceso comparado con el bien final. Si volvemos al ejemplo anterior de la máquina compleja, una pieza critica no sólo se define por su coste sino también por su tiempo de realización. Dado que el coeficiente de la inversión incluye el tiempo se puede detectar en cualquier estado de la fabricación si el mayor potencial para la mejora es o el tiempo o el coste.

Al final queda abierta la pregunta respecto a ciertos límites lean dentro del PECOTA. En el capítulo siguiente se desarrollan dichos límites.

5.4. Los límites lean

Sobre la base del PECOTA no sólo se pueden elegir los conceptos, las técnicas, las herramientas y los métodos de Kaizen adecuados para obtener una mejora en los procesos, sino que también se pueden definir los límites del estado actual. En este capítulo se presentan los límites, se elabora su importancia de aplicación y se aplican al caso práctico.

Este trabajo se ha limitado a tres límites. Los límites presentados en el apartado siguiente son los más relevantes.

5.4.1. Los límites lean simple, lean avanzado y lean máximo

En este trabajo se distingue entre los tres límites siguientes:

1. Límite lean simple: El límite lean simple muestra la curva de la fabricación actual sin la espera. Dado que la espera no añade valor, es un límite que demuestra la pérdida de eficiencia por la espera.
2. Límite lean avanzado: El límite lean avanzado equivale a la curva de la fabricación actual sin la espera ni el cambio de herramienta. Esta curva muestra el potencial de mejora al no tener que adaptar los puestos de trabajo ni tener espera dentro de la fabricación. Se puede llegar a alcanzar, porque se acerca a un estado de plena ocupación de la capacidad de la fabricación con un determinado bien.
3. Límite lean máximo: El límite lean máximo representa la curva de la fabricación del estado actual sin la espera ni el cambio de herramienta y con una reducción del 40% del tiempo y coste de los procesos de valor añadido. Se ha explicado anteriormente que los procesos de valor añadido incluyen tiempo y coste no valorado por el cliente. Dado que hasta un 90% de los

tiempos y costes durante un proceso de fabricación industrial no son productivos (ya que el cliente no paga por ellos, (Ohno, 1997)), se asume que la reducción del 40% representa un límite generalmente alcanzable. Ohno (Ohno, 1997) fija la reducción posible en un 50%, por lo que aquí se ha establecido un valor menor que puede servir de referencia en varias industrias.

En el capítulo 5.2.3. se ha introducido la definición de diferentes elementos de un proceso de fabricación industrial. Si se definen la espera y el cambio de herramienta como desperdicios porque el cliente no paga por ellos (Liker, J.U., 2007), se llega a los primeros límites. El límite lean simple equivale al PECOTA sin la espera. El coste del límite lean simple de un PCT Y ($C_{YLLsim.}$) se calcula de la manera siguiente (el tiempo total de la fabricación del PCT Y del límite lean simple ($t_{YLLsim.}$) se calcula de la misma manera):

$$C_{YLLsim.} = C_{Yet} - C_{YESt}$$

con

$C_{YLLsim.}$	coste del límite lean simple del PCT Y
C_{Yet}	coste total de la fabricación con espera del PCT Y
C_{YESt}	coste de la espera en todos los procesos del PCT Y.

El límite lean siguiente es el límite lean avanzado sin dos elementos (la espera y el cambio de herramienta). El coste del límite lean avanzado de un PCT Y ($C_{YLLava.}$) se calcula de la manera siguiente (el tiempo total de la fabricación del PCT Y del límite lean avanzado ($t_{YLLava.}$) se calcula de la misma manera):

$$C_{YLLava.} = C_{Yet} - C_{YESt} - C_{YCHt}$$

con

$C_{LLava.}$	coste del límite lean avanzado del PCT Y
C_{Yet}	coste total de la fabricación con espera del PCT Y
C_{YESt}	coste de la espera en todos los procesos del PCT Y
C_{YCHt}	coste del cambio de herramienta en todos los procesos del PCT Y.

El elemento del proceso de valor añadido incluye todas las actividades que requieren coste y tiempo para realizar la fabricación, una vez añadida la materia prima y realizados todos los cambios necesarios para fabricar un bien (véase capítulo XY). De esta manera, en el elemento del proceso de valor añadido no sólo se incluyen las actividades de un valor añadido por las que un cliente está dispuesto a pagar, sino también los desperdicios. En el caso práctico se incluyen en varios puestos de trabajo, por ejemplo, también los movimientos y controles que el cliente no está dispuesto a pagar, ya que él sólo necesita un proceso mecanizado. De esta forma se podrían definir los tiempos y los costes de los procesos de valor añadido lean. En el capítulo 2.2.1. se ha mencionado que Ohno (Ohno, 1997) asume que en cualquier proceso productivo un cliente ni siquiera pagaría un 50% de los recursos

usados, si los conociera. En este trabajo se asume que un límite alcanzable sería la reducción de los procesos de valor en un 40% respecto a su nivel de coste y tiempo total requerido. Si se introducen dichos costes y tiempos en el PECOTA, se llega al tercer límite, el límite lean máximo. Se llama de esa manera porque representa el límite teórico cuando no se cambia la técnica de fabricación y se eliminan todos los desperdicios (la espera, el cambio de herramienta y un 40% de los procesos de valor añadido).

El coste del límite lean máximo de un PCT Y ($C_{YLLmáx.}$) se calcula de la manera siguiente (el tiempo total de la fabricación del PCT Y del límite lean máximo ($t_{YLLmáx.}$) se calcula de la misma manera):

$$C_{YLLmáx.} = C_{Yet} - C_{YESt} – C_{YCHt} – C_{40\%YVAt}$$

con

$C_{YLLmáx}$	coste total de la fabricación en el límite lean máximo del PCT Y
C_{Yet}	coste total de la fabricación con la espera del PCT Y
C_{YESt}	coste de la espera en todos los procesos del PCT Y
C_{YCHt}	coste del cambio de herramienta en todos los procesos del PCT Y
$C_{40\%YVAt}$	coste del 40% del proceso de valor añadido en todos los procesos del PCT Y.

En el apartado siguiente se explicarán con más detalle las posibles aplicaciones de los límites presentados en este apartado.

5.4.2. Significado de los límites lean

Los límites lean suelen utilizarse para la orientación al evaluar un proceso o una fabricación completa.

Los límites lean simple y lean avanzado se utilizan para conocer y establecer los destinos de posibles eventos Kaizen. Aunque en la mayor parte de los eventos no es posible reducir el cambio de herramienta y la espera a cero, se suele reducir siempre el proceso de valor añadido. El caso práctico de este trabajo demuestra ese hecho (véase el capítulo siguiente).

Además es importante mencionar que la productividad se eleva al incrementar el volumen producido. Cuando hay que cambiar los puestos de trabajo para la fabricación de bienes diferentes, muchas veces se pierde tiempo y coste por el cambio de herramienta. Si, por otro lado, se pueden fabricar bienes con la misma configuración del puesto de trabajo, se eliminan el coste y el tiempo adicionales. Este hecho, representado por el límite lean avanzado, se logra o bien con la elevación del volumen de fabricación de bienes similares (o iguales) o bien mediante una flexibilidad alta en los puestos de trabajo respecto a los bienes fabricados. Si los puestos de trabajo no requieren cambios para poder producir los bienes y la organización de la fabricación no deja espacio para una espera entre los puestos de trabajo, llegamos al límite lean avanzado.

El límite lean máximo representa un límite difícil de cumplir, ya que se deberían eliminar todos los costes y tiempos de desperdicio en un proceso. Este límite debería servir principalmente de orientación para conocer el límite lean real de la fabricación industrial de un bien sin cambiar sus procesos de fabricación. En el

capítulo 2.2. se ha demostrado la diferencia entre Kaizen e innovación. En este trabajo nos limitamos al uso del Kaizen, aunque nunca debería olvidarse la innovación. Como se ha descrito en el capítulo 2.2., la innovación equivale a un cambio y un avance de golpe, mientras que el Kaizen trata de mejorar paso a paso. Para una empresa de fabricación industrial es importante conocer los límites de la propia fabricación. Mediante el límite lean máximo se puede evaluar si la fabricación de un cierto bien se puede realizar aplicando mejoras de eventos de Kaizen y, así, cumplir con las exigencias del cliente (precio final con beneficio para el fabricante) o si al contrario hay que innovar el proceso de fabricación.

El límite lean máximo, además, es importante a la hora de comparar diferentes empresas (inglés: benchmark). Si se realiza un estudio de competividad (muy común en el sector del automóvil) y el resultado es que la propia planta es mucho menos productiva en comparación a otra, hay que conocer el límite lean máxima de la propia fabricación. El resultado puede ser, por un lado, la posibilidad de la mejora mediante eventos de Kaizen (porque el límite lean demuestra que hay todavía mucho potencial en el proceso propio) o, por otro lado, la necesidad de una innovación importante. En el sector automovilístico es muy habitual comparar la productividad de líneas de fabricación para determinados bienes entre varios proveedores (Cooney, R., 2002). En un ámbito tan competitivo hay que analizar bien si se puede llegar, mediante la mejora continua, a las expectativas del cliente o si hay que cambiar no sólo los procesos sino igualmente la tecnología. Las aplicaciones de aluminio y de plásticos en los automóviles son desarrollos a partir del análisis que lleva al diagnóstico de que la reducción del peso de un coche no se puede lograr a un precio razonable para el cliente final, si no se cambia la tecnología. Si, por otro lado, se analiza que los procesos de mecanizado requieren demasiado recursos y el cliente no está dispuesto a pagar por ellos, hay que encontrar tecnologías de sustitución para poder realizar el bien de forma competitiva. Aunque en la mayor parte de la industria hoy en día no se realiza la comparación abierta de la fabricación entre competidores, siempre es importante conocer el límite del coste y del tiempo de la tecnología existente. Se puede utilizar, aparte de para comparar directamente con los competidores, también para fijar precios para proyectos grandes de los que se espera una mejora de la eficiencia durante los próximos años.

En el apartado siguiente se muestran los límites lean simple, lean avanzado y lean máximo en el PECOTA del caso práctico.

5.4.3. Aplicación de los límites lean en el PECOTA

Primero aplicamos los límites lean simple, lean avanzado y lean máximo al estado inicial, con lo que obtenemos la figura 5.34.

Del gráfico de la figura 5.34. se puede deducir, por una parte, que si se llegara a pleno rendimiento (con bienes que se fabrican sin necesidad de cambio de herramienta), se podría bajar el coste total de C_{let} a $C_{ILLava.}$. Por otra parte se ve que sin un cambio de la tecnología de la fabricación los costes no bajarán del nivel $C_{ILLmáx.}$. Lo que se ha descrito para los costes vale también para los tiempos correspondientes.

Una vez realizado el evento de mejora continua, se obtiene el gráfico de la figura 5.35. Sin conocer más detalles sobre las cifras exactas de los costes y tiempos, en el gráfico se puede observar que:

- el proceso tiene todavía mucho potencial respecto a una reducción del tiempo
- el proceso se puede optimizar considerablemente respecto al nivel de los costes.

En el gráfico de la figura 5.35. vemos la situación del estado final, incluyendo los límites lean simple, avanzado y máximo del PCT II.

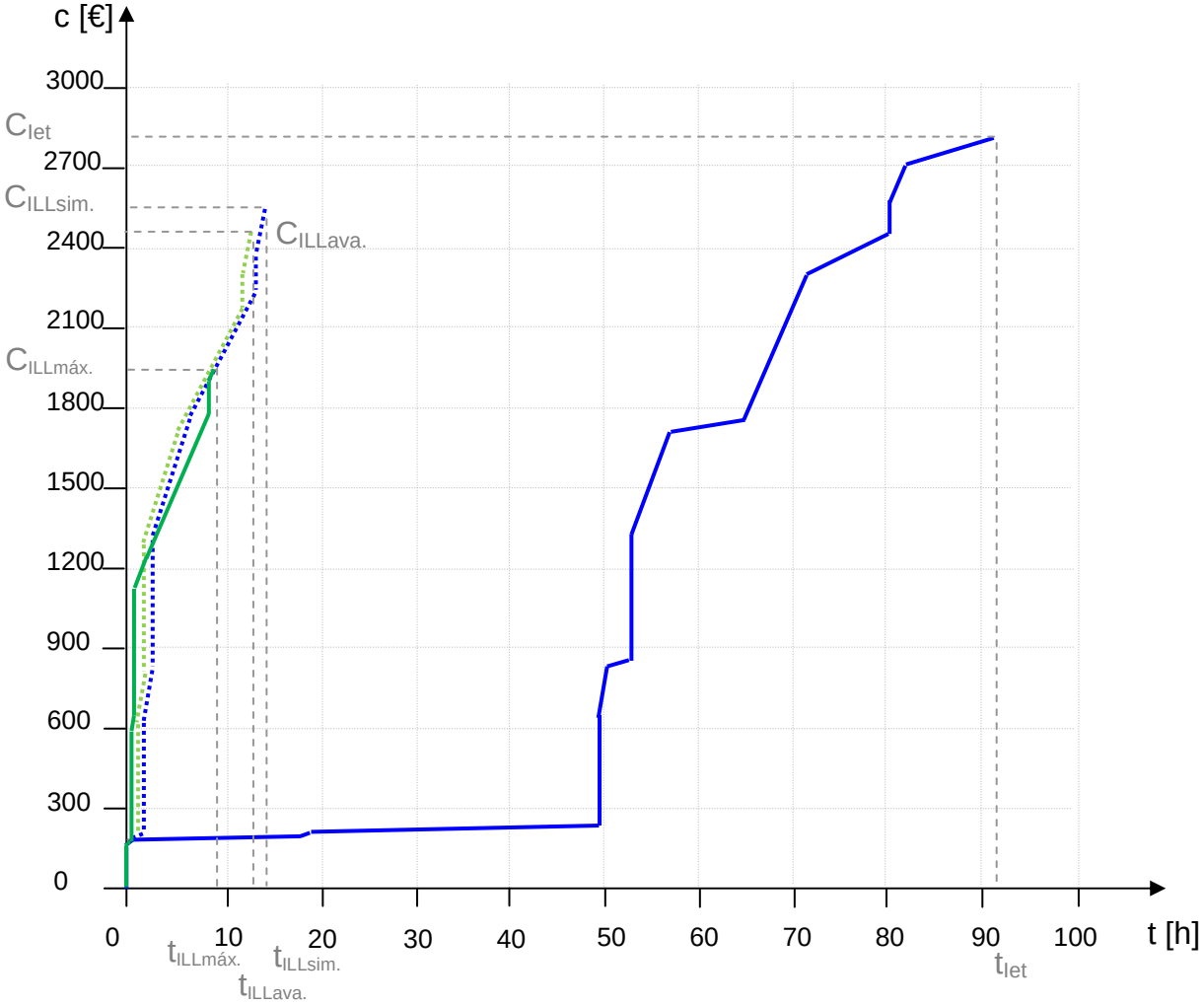


Figura 5.34. Límites lean simple, lean avanzado y lean máximo en el PCT I

Leyenda:

t_{let}	tiempo total de la fabricación con espera del PCT I
$t_{ILLsim.}$	tiempo total de la fabricación al límite lean simple del PCT I
$t_{ILLava.}$	tiempo total de la fabricación al límite lean avanzado del PCT I
$t_{ILLmáx.}$	tiempo total de la fabricación al límite lean máximo del PCT I
C_{let}	coste total de la fabricación con espera del PCT I
$C_{ILLsim.}$	coste total de la fabricación al límite lean simple del PCT I
$C_{ILLava.}$	coste total de la fabricación al límite lean avanzado del PCT I
$C_{ILLmáx.}$	coste total de la fabricación al límite lean máximo del PCT I

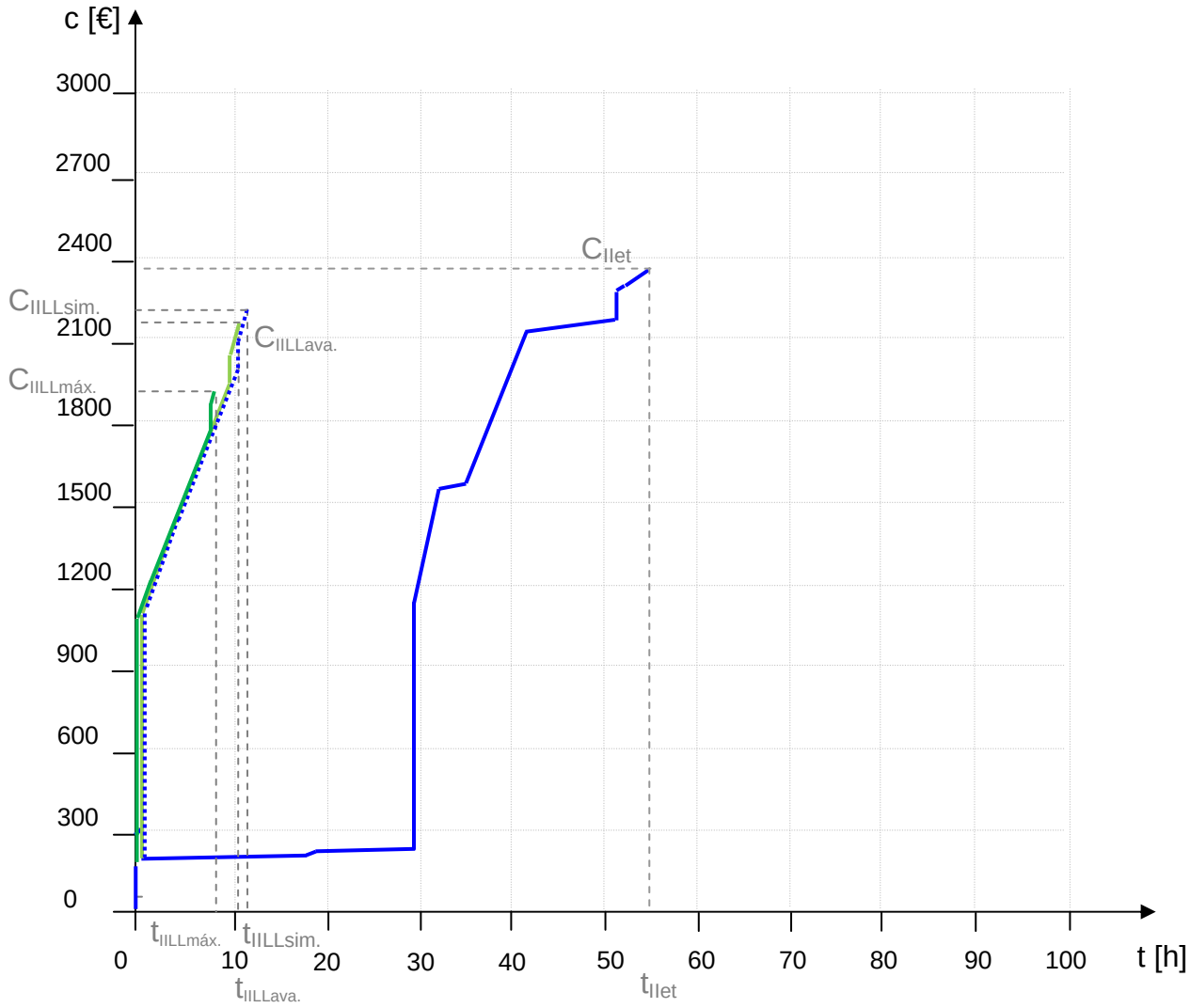


Figura 5.35. Límites lean simple, lean avanzado y lean máximo en el PCT II

Leyenda:

t_{IIlet}	tiempo total de la fabricación con espera del PCT II
$t_{IILLsim.}$	tiempo total de la fabricación al límite lean simple del PCT II
$t_{IILLava.}$	tiempo total de la fabricación al límite lean avanzado del PCT II
$t_{IILLmáx.}$	tiempo total de la fabricación al límite lean máximo del PCT II
C_{IIlet}	coste total de la fabricación con espera del PCT II
$C_{IILLsim.}$	coste total de la fabricación al límite lean simple del PCT II
$C_{IILLava.}$	coste total de la fabricación al límite lean avanzado del PCT II
$C_{IILLmáx.}$	coste total de la fabricación al límite lean máximo del PCT II

La aplicación al caso práctico demuestra lo que se define en el apartado anterior. Los límites lean simple y avanzado se acercan mucho a la situación actual después del evento de mejora continua. El tiempo de la fabricación contiene aún un potencial considerable. Si se trata de un bien en el que el tiempo de entrega es de especial interés o incluso más importante que el coste de su fabricación, hay que trabajar más con los eventos de Kaizen. Por otro lado, los costes de la fabricación se acercan, en la situación después del evento de mejora continua (PCT II), a los límites lean simple y avanzado. Esta situación indica que, al fabricar en lotes

grandes (para evitar el coste por el cambio de herramienta), los costes no se reducirán bruscamente. Para una comparación con un competidor u otra referencia se puede decir que tanto el tiempo total de la fabricación como el nivel del coste total se pueden mejorar todavía considerablemente mediante eventos de Kaizen. Al cambiar el proceso de fabricación entre los estados uno y dos, ahora existe un potencial para la mejora que debería permitir mejorar la productividad durante los próximos eventos de Kaizen.

Mediante el cálculo de la inversión presentado en las tablas de 5.1. hasta 5.8. se pueden obtener los valores absolutos de cada una de las inversiones. Dado que dicho proceso no es muy fácil ni rápido, se ha propuesto el PECOTA con el PCT. En los gráficos anteriores se pueden ver también las relaciones. Por esta razón el método visual es suficientemente exacto y mucho más simple de aplicar.

La inversión durante un proceso de fabricación industrial consiste de las inversiones causadas por sus elementos. Dichos elementos, la materia prima, el cambio de herramienta, la espera y el proceso de valor añadido, se pueden optimizar mediante herramientas y métodos de Kaizen. Se ha descrito en los capítulos 5.2.3.1., 5.2.3.2. y 5.2.3.3. las propuestas correspondientes. Para la inversión total del PECOTA valen dichas recomendaciones para lograr la mejora deseada. En el capítulo 6 se encuentra un catálogo para la evaluación y la mejora del PECOTA de cualquier proceso industrial, ya sea un proceso único o una fabricación industrial a gran escala.

Capítulo 6

Resultados

6. Resultados

En este capítulo se demuestran los resultados de este trabajo. La poderosa mejora continua no permite hasta ahora comparar diferentes estados de fabricación.

Primero se describen brevemente el nuevo método PECOTA y las propuestas de actuación a partir de él. Después se definen y explican el nuevo coeficiente de la inversión y las posibilidades de establecer relaciones de referencia. Al final se resumen los límites definidos en el capítulo anterior.

6.1. El PECOTA con AVSM y PCT

El PECOTA (perfil coste y tiempo adaptado) es un nuevo método que consiste de un mapeo de flujo de valor adaptado (adapted value stream map – AVSM) y un perfil de coste y tiempo (PCT).

La adaptación del AVSM consiste en introducir los costes por hora, el coste de la materia prima añadida y un interés de espera. Estos datos, fácilmente accesibles para el control de costes de cualquier empresa, permiten un análisis mucho más detallado. En los anexos L. y M. se encuentran un AVSM y un VSM para el mismo estado de una fabricación. Mediante un PCT se pueden visualizar los datos obtenidos en el AVSM. De esa manera, el PECOTA se convierte en un método que requiere sólo datos fácilmente accesibles y que visualiza cualquier estado de una fabricación. Como uno de los objetivos más importantes de este trabajo, se ha logrado encontrando un método que permite visualizar cualquier cambio en una fabricación. Dado que se muestra cada uno de los elementos importantes de un proceso (la espera, la materia prima, el cambio de herramienta y el proceso de valor añadido) y, además, se demuestra la influencia de los costes por hora, es posible analizar, comparar y evaluar la situación de un equipo de fabricación de manera rápida, fácil y comprensible.

De especial interés en este trabajo es el elemento de la espera, que se ha podido incluir en todos los análisis. Al definir un interés por tiempo, por primera vez es posible demostrar en cualquier momento la influencia de los almacenes y las esperas de los bienes en la fabricación respecto al coste y al tiempo totales de la fabricación. Por otro lado se puede analizar cada uno de los elementos restantes (materia prima, cambio de herramienta y proceso de valor añadido) también con facilidad excluyendo la espera del gráfico.

Al poder visualizar diferentes estados de la fabricación, se pueden comparar estos estados fácilmente, ya que se pueden introducir varios estados en el mismo gráfico. En el capítulo de los límites lean (capítulo 5.4.) se aplica esta posibilidad con más detalle.

Respecto a los diferentes elementos de un proceso, se pueden establecer propuestas de actuación para la mejora de su curva en el PCT del PECOTA. En la tabla 6.1. están resumidas, de una parte, la optimización general de un proceso y, de otra parte, las propuestas de actuación para cada uno de los elementos de un proceso.

Optimización general	- *Menos personal directo: optimización de la productividad, optimizar el número de bajas por enfermedad* - *Menos personal indirecto* - *Procesos más simples (visualización) → menos coste* - *Trabajo sin horas extras* - *Maquinaria y herramientas más baratas* - *Cuanto menos se emplea, más barato es el proceso* - *Cuanto menos caras sean las piezas de repuesto y del Mantenimiento y menos herramientas sean necesarias (herramientas más duraderas), tanto más bajo será el coste del proceso* - *Menos costes de funcionamiento (maquinas más eficientes)* - *Materia de suporte más eficiente (al coste no superior)*

Propuesta de actuación	**Espera (ES)**	**Cambio de herramienta (CH)**	**Proceso de valor añadido (VA)**
Índices	**$i_{ces\ Pet} < 5\%$** **$i_{tES} < 50\%$**	**$i_{YCHVAx} < 7\ \%$**	**$i_{YVAtMAtptx} > 95\%$**
Conceptos, técnicas y herramientas	- EKUV - Justo a tiempo (JIT) - Kanban – sistema de fabricación desde el cliente (PULL) - Nivelado de carga (japonés Heijunka) - Supermercado - Nivelado de carga de fabricación - Reducción del tiempo de ciclo - Poka Yoke - Reducción de lotes	- Sistema de fabricación en células (CMS) - Gestión de calidad total - Juego de pruebas (Benchmark) - Gestión visual (Andon) - SMED - OTED/NTED/STED - SPEED - EKUV - 5S - Nuevos diseños de la fabricación	- Sistema de sugerencias - Justo a tiempo (JIT) - Sistema de fabricación en células (CMS) - Mantenimiento preventivo - Nivelado de carga - Gestión de calidad total - Simplificación de la planificación - Juego de pruebas (Benchmark) - Gestión visual (Andon) - EKUV - 5S - Ceros defectos (Poka Yoke) - Nuevos diseños de la fabricación - Supermercado - Equipos autónomos

Métodos	- Diagrama de Gantt - Mapeo de flujo de valor (VSM)	- Pareto - Diagrama de dispersión - Ishikawa - Árbol de realidad - Los 5-M - Las 7-preguntas - Diagrama de Gantt - Mapeo de flujo de valor (VSM) - Diagrama de Spaghetti	- Pareto - Histograma - Diagrama de dispersión - Ishikawa - Árbol de realidad - Los 5-M - Las 7-preguntas - Lista de las 3 MUs - Diagrama de Gantt - AMEF - Mapeo de flujo de valor (VSM) - Diagrama de Spaghetti

Tabla 6.1. Propuestas de actuación para la curva del PCT

Las técnicas, las herramientas y los métodos de Kaizen para la optimización de la curva de una fabricación en el PCT del PECOTA están descritos con más detalle en el capítulo 5.

6.2. El nuevo coeficiente inversión

La inversión es un coeficiente que permite evaluar un proceso o una línea de fabricación no sólo por los costes sino también por el tiempo requerido. Es un coeficiente que es igual al integral y al área formada por el coste y el tiempo. Mediante esa definición no sólo es posible su cálculo matemático sino también su evaluación en el PECOTA. Además, cada inversión consiste de un proceso industrial de las inversiones por sus elementos (la materia prima, el cambio de herramienta, la espera y el proceso de valor añadido). Mediante el análisis de la literatura y la aplicación a un caso práctico, se han podido establecer los primeros valores de referencia para las inversiones por los elementos de un proceso (en relación a la fabricación total) para un entorno de fabricación industrial. Estos valores se encuentran resumidos en la tabla 6.2.

	Espera (ES)	**Cambio de herramienta (CH)**	**Proceso de valor añadido (VA)**	∑
Inversión	$I_{ES} < 5\ \%$	$I_{CH} < 1\%$	$I_{VA} > 94\%$	100%

Tabla 6.2. Referencias para las inversiones

La mayor parte de la inversión se debe siempre al proceso de valor añadido. Los valores anteriormente descritos se deberán elaborar más en futuros trabajos.

En la presentación de cada uno de los límites lean en el apartado anterior no sólo se ha explicado cada uno de ellos sino que también se ha descrito que cada uno de los límites lean sirve como punto de referencia para poder evaluar mejorar la situación actual y su posible desarrollo futuro. Cada uno de ellos no es un punto que haya que alcanzar, sino un punto de referencia para poder evaluar hasta dónde se podría llegar y dónde empieza la necesidad de cambiar el pensamiento sobre los procesos actuales.

Capítulo 7

Conclusiones

7. Conclusiones

Para finalizar este trabajo pasamos a presentar las conclusiones generales de éste y a realizar una breve descripción de posibles futuras áreas de investigación.

7.1. Conclusiones generales

Hoy en día existen en el mundo múltiples técnicas y métodos de administración, y diferentes formas de hacer negocio. Entre las empresas que mejores resultados económicos consiguen, están aquellas que aplican la metodología de Kaizen. Sobre todo, en aquellas de fabricación, los conceptos, las técnicas, las herramientas y los métodos de Kaizen tienen una gran importancia para una mejora continua de la producción. Durante el evento de mejora continua, como núcleo del cambio de la cultura y de los procesos, se elaboran cambios en los procesos con el fin de mejorarlos.

En este trabajo, se ha desarrollado un método visual y se ha evaluado el nivel de productividad en la fabricación industrial basada en la variación del flujo de valor. El novedoso resultado permite un análisis y una evaluación única y eficaz que otorga una ventaja económica a su usuario. Además, se ha demostrado que es un método que presenta muchas posibilidades para mejorar la productividad en el área industrial.

Mediante el método visual PECOTA desarrollado en el trabajo y basado en el AVSM (mapeo de flujo de valor añadido adaptado) y el PCT (perfil de coste y tiempo), se pueden analizar y evaluar los cambios de una manera cuantitativa, visual y sencilla.

Para el desarrollo del PECOTA y su posible aplicación en varias áreas se ha dividido el proceso en: elementos de la materia prima, cambio de herramienta, proceso de valor añadido y espera. Para cada uno de ellos, existen índices de referencia para poder evaluarlos de manera eficaz. Además se ha elaborado para cada elemento una propuesta de mejora, cuyo principal objetivo es optimizar la curva del PECOTA, y por tanto, en los procesos de fabricación. Mediante la visualización se puede analizar y evaluar con varios usuarios cualquier cambio en los diferentes estados del proceso de fabricación, dado que se realiza de una manera eficaz y entendible. El método desarrollado no sólo sirve para el análisis y la evaluación de los diferentes estados del pasado, sino que también para el análisis y la evaluación previa, antes de realizar cualquier cambio.

A base del PECOTA se ha desarrollado un coeficiente, la inversión, que permite por primera vez analizar y evaluar estados y cambios de una fabricación respecto al coste y al tiempo usando un sólo coeficiente. Además, se demuestra de manera entendible el impacto que cada elemento de un proceso de fabricación tiene tanto durante este proceso como en los siguientes.

La curva del PCT del PECOTA deja la posibilidad de definir límites lean. En este trabajo se han desarrollado tres límites lean, el límite lean simple, el límite lean avanzado y el límite lean máximo. Los límites lean permiten evaluar las posibilidades y necesidades de mejora en la fabricación, además permiten detectar las necesidades de innovación en los procesos, al plantear una mejora continua de los procesos actuales.

Al ser un método visual resulta fácil de usar. Las propuestas de actuación para la mejora de cada elemento de un proceso a base de los conceptos, las técnicas, las herramientas y los métodos de Kaizen proporcionan un camino definido

a seguir. De esa manera es un método teórico pero que se puede aplicar directamente a la práctica en el día a día.

Dado que se ha desarrollado el PECOTA a base del AVSM y PCT y además se ha establecido un nuevo coeficiente, la inversión, existen aún futuras áreas de investigación que se presentan en el apartado final.

7.2. Futuras líneas de investigación

Tanto el método PECOTA y el coeficiente de la inversión, desarrollados en este trabajo, se encuentran en una fase inicial de su investigación. Respecto al método de PECOTA quedan, desde el punto de vista del autor, las siguientes áreas abiertas.

- Para la elaboración del método y del coeficiente de la inversión se ha analizado y evaluado el sector de la fabricación industrial. Hay que aplicar el resultado de este trabajo a otros industrias y servicios para poder establecer valores de referencia para cada uno.
- Tal y como se ha descrito en el trabajo, hoy en día se realiza cualquier cálculo de coste en base a un coste por hora constante. En el trabajo se ha desarrollado un método que permitiría también el uso de una relación flexible. Queda abierta, por tanto, la posibilidad de investigación en base al resultado del trabajo.
- El método visual PECOTA debería incluirse dentro de la formación del personal en las empresas del sector de la fabricación industrial. Habría que desarrollar el procedimiento para introducirlo dentro de las diferentes formaciones profesionales.

Capítulo 8

Bibliografía

8. Bibliografía

Abele, E. (2008) Globale Produktion, Prof. Dr-Ing. Eberhard Abele, Prof. Dr. Jürgen Kluge, Dr. Ulrich Näher, página 37
Carl Hanser Verlag, München/Wien, Alemania
2008

AEC (2009) Filosofía kaizen o el origen de la mejora continua
www.arame.org/calidad/kaizen.pdf, página 2
AEC (Asociación Española para la Calidad), Madrid, España
Visto 03/04/2009

Alves, T.C.L. (2000) Guidelines for Managing Physical Flows in Construction Sites
Alves, T.C.L. and Formoso, C.T.
Eighth Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC-8),Brighton, Gran Bretaña
2000

Barraza, M.F. (2009) Lean Kaizen Public Service: An Empirical Approach in Spanish Local Governments
Barraza, M.F., Smith, T., and Dahlgaard-Park, S.M.
The TQM Journal, Vol. 21 número 2, página 143 – 167
2009

Bayou, M.E. (2008) Measuring the leaness of manufacturing systems – A case study of Ford Motor Company and General Motor
Bayou, M.E., de Korvin, J.
Eng. Technological Managemen of University of Michigan-Dearborn, EEUU
2008

Bessant, J. (2009) Managing Innovation: Integrating Technological, Market and Organizational Change, Vol. 4
Bessant, J., Tidd, J.
John Wiley & Sons, Hoboken, EEUU
2009

Bowen, K. (1999) Decoding the DNA of the Toyota Production System, página 96
Bowen, K.
St. Spear, Harvard Business Review, Vol. 5
1999

Brockhaus (1997) Der Brockhaus
diccionario enciclopédico más importante de Alemania, Brockhaus Verlag, Alemania
1997

Bullinger, H. J. (1996) Neue Organisationsformen im Unternehmen. Ein Handbuch für das moderne Management
Bullinger, H.J., Warnecke, H. J.
Springer Verlag, Berlin, Alemania
1996

Barker, R.C.(1994) Collecting and Analysing Data for Restructuring the Manufacturing Process
Barker, R.C.
presentado en la conferencia de "Maximising the effectiveness of your strategic operations"
IIR Ltd., Industrial Division, 20th Floor Centre Point, 103 New Oxford Street, London, Gran Bretaña
1994

Boyer, K.K. (1996) An assessment of managerial commitment to lean production
Boyer, K.K.
International Journal of Operations and Production Management, Vol. 16 No. 9 pp.48-59
1996

Burch, M.K. (2008) Lean Longevity Kaizen Events and Determinants of Sustainable Improvement
Burch, M.K.
Doctoral Dissertation, University of Massachusetts, Amherst, Amherst, MA, EEUU
2008

Carstens (2009) Kaizen und Six Sigma, página 4
www.carstens-informations-management.de
Carstens & Co GmbH, Dresden, Alemania
2009

Cooney, R. (2002) Is 'Lean' a Universal Production System? Batch Production in the Automotive Industry
International Journal of Operations & Production Management, Vol. 22, número 10, página 1130-1147.
2002

Däumler, K-D. (2004) Kostenrechnung 1. Grundlagen für Ingenieure
Däumler, K-D., Grabe, J.
NWB Verlag, Alemania
2004

de Haan, J. (2001) Production planning in Japan: Rediscovering lost experiences or new insights?, página 108
de Haan, J., Yamamoto, M., Lovink, G.
Tilburg University, Países Bajos & Oita University, Japón
International Journal of Production Economics, número 71
2001

Dentz, J. (2009) Applying Lean Production in Factory Homebuilding
Dentz, J., Nahmens, I., and Mullens, M.
Cityscape: A Journal of Policy Development and Research, Vol. 11, número 1, página 81
2009

Deutsche Bank (2011) www.deutsche-bank.de
Deutsche Bank AG, Frankfurt am Main, Alemania
Visto 10/05/2011

Diekmann, J.E. (2003) Measuring lean conformance, página 84-91
Diekmann, J.E., Balonick, J., Krewedl, M., Troendle, L.
11th Annual conference on lean construction
Virginia Polytechnic Institute and State University, EEUU
2003

Doolen, T.L. (2007) Designing Kaizen Events for Success
Doolen, T.L., Van Aken, E.M., Farris, J.A., and Worley, J.M.
Proceedings of the 2007 IIE Annual Conference and Expo, Nashville, TN, EEUU
2007.

Eurostat (2011) http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/statistics/themes
Eurostat, Luxemburgo, Luxemburgo
Visto 05/03/2011

FAZ (2011) Der Mittelstand zahlt die Zeche
Würst
Frankfurter Allgemeine Zeitung, número 101, página 18
02/05/2011

Farris, J.A. (2008) Critical success factors for human resource outcomes in Kaizen events: An empirical study
Farris, J.A., Eileen M. van Aken, Toni L. Doolen, June Worley
Texas Tech University, EEUU & Virginia Polytechnic Institute & State University, USA & Oregan State University, EEUU
International Journal of Production Economics
2008

Feld, W.M. (2000) Lean manufacturing: tools, techniques, and how to use them, partes 2-4
APICS Series on Resource Management, Resource Management Series
The St. Lucie Press/APICS, EEUU
2000

Forza, C. (2000) Assessing some distinctive dimensions of performance feedback information in high performing plants
Forza, C., Salvador, F.
International Journal of Operations & Production Management, Vol. 20, número 3, página 359-385

Fooks, J.H. (2000) Profiles for Performance: Total Quality Methods for Reducing Cycle Time: Westinghouse Techniques for Time-based Management (Westinghouse Total Quality Series)
Fooks, J.H.
Addison Wesley, EEUU
2000

FTD (2010) Financial Times Deutschland,
Margret Hucko, pág. 3
G+J Wirtschaftsmedien AG & Co. KG, Hamburg, Alemania
24/09/2010

Gestipopolis (2009) www.gestiopolis.com
Documento web
Visto 10/05/2009

Gross, B. (2002) Rüstzeitreduzierung, página 7
Gross, B.
Mehdorn Verlag, Neustadt, Alemania
2002

Grupo Galgano (2005) Incrementar la eficiencia productiva a través de LEAN MANUFACTURING (presentación), página 31
Salón de Logística, Madrid, España
2005

Hammet, P.C. (2003) Identifying sources of variation in sheet metal stamping
Hammet, P.C., Majeske, K.H.
Internat. Journal of Flexible Manufacturing Systems, página 7
2003

Hanashiro, A. Proposta de uma metodologia para gestão do conhecimento no chão de fábrica: um estudo de caso na indústria automotiva.
Hanashiro, A.
XXVII ENEGEP, Foz do Iguaçu, Sao Paulo, Brasil
2007

Hawkins, B. (2005) The Many Faces of Lean Maintenance
Hawkins, B.
Plant Engineering Vol. 59, número 9, página 63
2005

Imai, M (1992) Kaizen. Der Schlüssel zum Erfolg der Japaner im Wettbewerb, Vol. 2
Imai, M.
LangenMüllerHerbig Verlag, Munich, Alemania
1992

Jordan, J. A. (2001) The lean company: Making the right choices
Jordan, J. A., Michel, F. J.
Society of Manufacturing Engineers, Dearborn, MI, EEUU
2001

Kaizen Forum, 2009 Mit Speed die Umrüstzeit drastisch senken, página 1 y 2
Kaizen Forum, Bad Homburg, Alemania
2009

Kaizen Institute, 2009 Kaizen Konzept SPEED
www. kaizen-institute.de
Bad Homburg, Alemania
2009

Kaplinsky , R. (2004) The use of a lean production index in explaining the transition to global competitiveness: the auto components sector in South Africa
Kaplinsky, R. and Kojima, S.
Technovation, Vol. 24, página 199-206
2004

Karlsson, C. (1996) Assessing changes towards lean production
Karlsson, C., Ahlstrom, P.
International Journal of Operations and Production Management 16 (2), 24–41.
1996

Kirby, K.E. (2003) How value stream type affects the adoption of lean production tools and techniques
Kirby, K. & Greene B.
Industrial Engineering and Research Conference, Portland, OR, EEUU
2003

Koenigsaecker, G. (2005) Leadership and the Lean Transformation,
Koenigsacker, G.
Manufacturing Engineering, Vol. 135, número 5, página L7
2005

KPC (2008) www.kpc.de, Documento web y documentos, presentación e información desde dentro de KPC, Alemania
Publicado internamente desde 1999

Liker, J.U. (2007) Der Toyota Weg,
J.U. Liker, página 124
Finanzbuchverlag, München, Alemania
2007

LMI (2008) Rüstzeit reduzieren
Lean Management Institute, LMI, página 2
Aachen, Alemania
2008

Marin-Garcia, J. A. (2009) The Impact of Kaizen Events on Improving The Performance of Automotive Components' First-Tier Suppliers
Marin-Garcia, J. A. , Garcia-Sabater, J. J., and Bonavia, T. ǁ International Journal of Automotive Technology and Management, Vol. 9 No. 4 pp. 362-376.
2009

McDonal, T. (2002) Utilising simulation to enhance value stream mapping: A manufacturing case application
McDonal, T., Van Aken, E., Rentes, A.F.
International Journal of Logistics
2002

Mika, G. (2007) Kaizen event implementation manual, página 127
Mika, G.
Society of Manufacturing Engineers, EEUU
2007

Moore, R. (2004) Making Common Sense Common Practice, Third Edition: Models for Manufacturing Excellence, Vol. 3
Moore, R.
Butterworth-Heinemann, Oxford, Gran Bretaña
2004

Moraes, F.M. (2003) Filosofia kaizen aplicada em uma indústria automovilística
Moraes, F.M.
XXIII ENEGEP, Ouro Preto, Brasil
2003

Ohno, T. (1997) Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala
OHNO, T.
Tradução Cristina Schumacher
Artes Médicas, Porto Alegre, Brasil
1997

Ortiz, C. (2006) All-Out Kaizen: a Continuous Improvement Plan Delivers Change to the Production Floor ... and Dollars to the Bottom Line
IEE Industrial Engineer, Vol. 38 No. 4, pp. 30.
2006

Oxtoby, B. (2002) Developing organizational change capability
Oxtoby, B., McGuinness, T. and Morgan, R.
European Management Journal, Vol. 20, número 3
2002

Panneerselvam, R. (2008) Production and operation management
Panneerselvam, R.
Prentice Hall, New Dehli, India
2008

Pattanaik, L.N. (2008) Implementing lean manufacturing with cellular layout: a case study
Pattanaik, L.K., Sharma, B.P.
Springer-Verlag, London, Gran Bretaña
2008

Porsche Consulting (2009) www.porsche.de
Documento web y documentos, presentación e información del departamento
Porsche AG, Stuttgart, Alemania
Publicado desde 2000

Quality one (2009) El AMEF para la mejora continua
www.quality-one.com, Documento web
(Visto 28/04/2009)

Ragu-Nathan, T.S. (2005) Level of End-User Computing Moderates the Impact of Time-Based Product Development Practices on Performance
Ragu-Nathan, T.S., Vonderembse, Mark A., Rondeau, Patrick J., and Cao, Mei
International Journal of Product Development, Vol. 1, número 3/4, página 280-300
2005

Roth, A.V. (2004) Applications of Empirical Science in Manufacturing and Service Operations
Roth, A.V.
Manufacturing and Service Operations Management, Vol. 9
2004.

Rother, M. (1998) Learning to see: value stream mapping to create value and eliminate muda, versión 1.1.
Rother, M., Shook, J.
The Lean Enterprise Institute, Brookline, Massachusetts, EEUU USA
1998

Rother, M. (2001) Creating Continuous Flow: an action guide for managers, engineers, and production associates
Rother, M. and Harris, R.
The Lean Enterprise Institute, Brookline, Massachusetts, EEUU
2001

RWTH Aachen (2009) Das Konzept des Supermarkts in der Produktion
presentación online de www.wzl.rwth-aachen.de
technische Universität Aachen,RWTH, Aachen, Alemania
Visto 10/05/2009

Sahoo, A.K. (2007) Lean philosophy: implementation in a forging company
Sahoo, A.K., N.K. Singh, Ravi Shankar
Springer Auditors, London, Gran Bretaña
2007

Seibel, S. (2004) Um modelo de benchmarking baseado no sistema produtivo classe mundial para avaliação de práticas e performances da indústria exportadora brasileira
Tesis doctoral de Ingeniería de producción
Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil
2004

Shah, R. (2003) Lean manufacturing: Context, practice bundles, and performance
Shah, R., Ward, P. T.
Journal of Operations Management, 21(2), 129-149
2003

Sigmund, O. Benchmark – Ein Weg zu Kaizen
Sigmund, O.
Manager Magazin, Vol. 37, página 37
2006

Soriano-Meier, H. (2002) A Model for Evaluating the Degree of Leanness of Manufacturing Firms
Soriano-Meier, H., & Forrester, P.L.
Integrated Manufacturing System, Vol. 13, número 2, página 104 – 109
2002

Tapping, D. (2002) Value stream management
Tapping D., Luyster, T., Shuker, T.
Productivity Press, New York, EEUU
2002

Tommelein, I.D. (1998) Pull-driven Scheduling to Pipe-Spool Installation: simulation of a Lean Construction Technique
Tommelein, I.D.
ASCE, Journal of Construction Engineering and Management, EEUU, página 279-288
1998

Tubino, D. F. (1999) Sistemas de produção: a produtividade no chão de fábrica
Tubino, D.F.
Bookman, Porto Alegre, Brasil
1999

Tuobra (2009) Gestión total de la calidad en la producción
www.tuobra.unam.mx
Politécnica de Monterrey, Monterrey, México
Visto 20/06/2009

Tsutsui (2001) Manufacturing ideology: Scientific management in twentieth-century Japan
Tsutsui
Princeton University, EEUU
2001

Universität M. (2009) Kaizen und wie
www.uni-marburg.de/japanz
Philipps-Universität Marbug, Marburg, Alemania
2009

Vision Lean (2009) Heijunka, Flexibilizar y alisar la producción
www.vision-lean.es, Madrid, España
Visto 14/05/2009

Wikilearning (2009) www.wikilearning.com
Wikilearning, España
Visto 17/06/2009

Wikipedia (2009) www.wikipedia.de, Documento web
Alemania
Visto 23/04/2009

Witschaftslexikon24 (2011) www.wirtschaftslexikon24.de
Witherton Jones Publishing LTd, Chapter House, Upper Church Street, Isle of Man, Gran Bretaña
Visto 16/05/2011

Womack (1992) A Máquina que Mudou o Mundo
Womack, J. P., Jones, D.T. y Roos, D.
Editora Campus, Rio de Janeiro, Brasil
1992

Womak, J.P. (1997) A Mentalidade Enxuta
WOMACK, J.P. e. JONES D. T.
Editora Campus, Rio de Janeiro, Brasil
1997

Capítulo 9

Anexos

9. Anexos

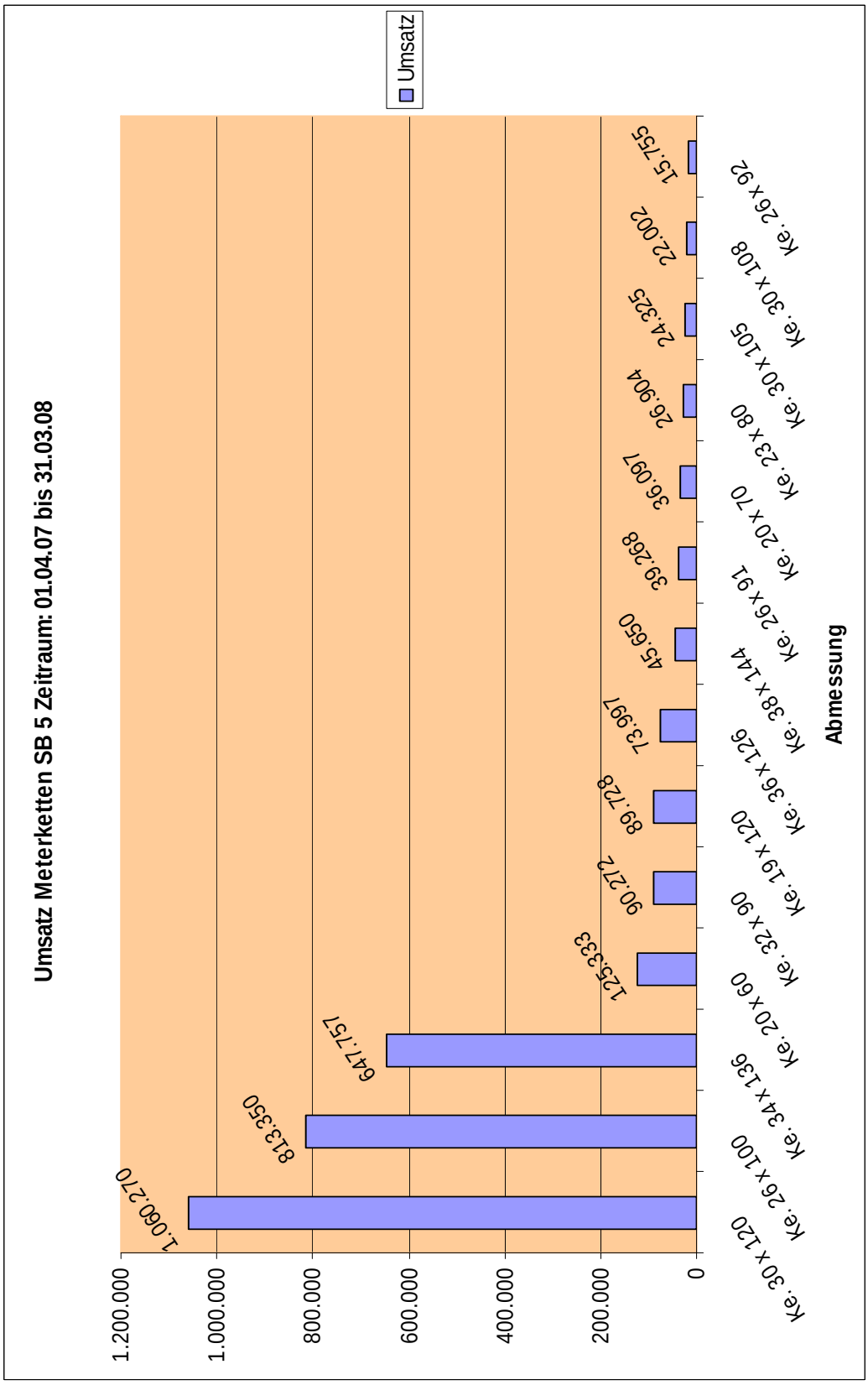
A. Diaro de un evento de mejora continua

Cada unidad de un evento de mejora continua tiene una organización para cada día del evento. En cada unidad se reúnen para realizar una tarea en grupo, un equipo de miembros de la empresa de varias disciplinas para resolver un problema definido durante (máx.) una semana (Grupo Galgano, 2005).

	DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5
ACTIVIDADES	• Presentación del objetivo. • Formación. • Visita a la línea. •Toma de datos. • Identificación del MUDA. • Prueba de soluciones en la línea.	• Identificar MUDA. • Prueba de soluciones en la línea. • Implantar medidas definitivas.	• Prueba de soluciones. • Implantar medidas definitivas. • Comprobar resultados.	• Implantar medidas definitivas. •Comprobar resultados.	• Comprobar resultados. • Preparar la presentación.
FORMA DE CONTROL	Informe de 20 minutos al Director de Operaciones al final del día.	Informe de 20 minutos al Director de Operaciones al final del día.	Informe de 20 minutos al Director de Operaciones al final del día.	Informe de 20 minutos al Director de Operaciones al final del día.	Presentación a la Dirección. Participan tolos los miembros del equipo. (1 hora).
HORARIO	9:00 a 17:00	A DEFINIR	A DEFINIR	A DEFINIR	A DEFINIR

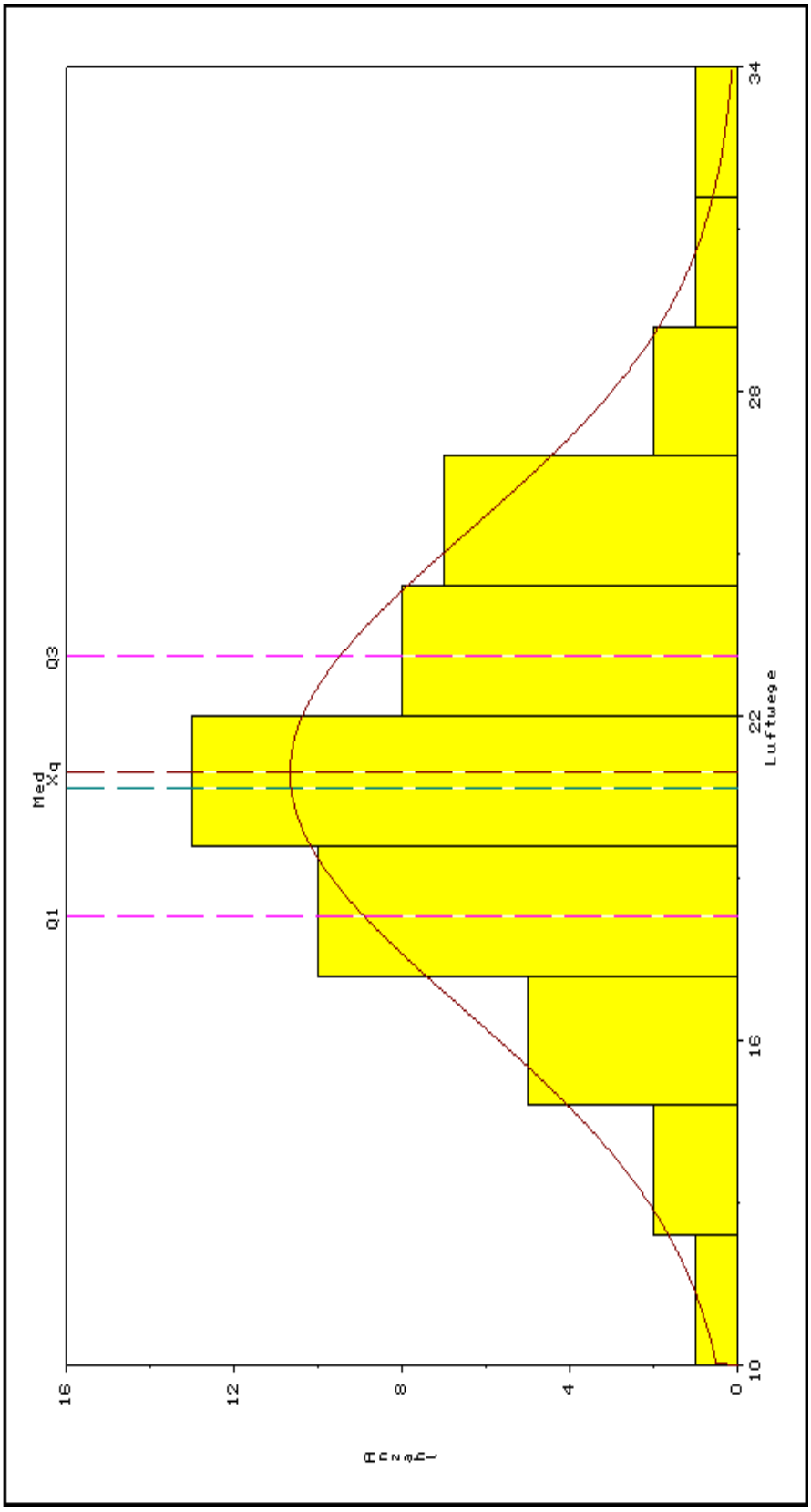
B. Diagrama de Pareto

Pareto por bien producido



C. Un Histograma

Un ejemplo de un histograma del Brockhaus (Borckhaus, 1997).



D. Hoja de medicion de tiempo de un diagrama de Gantt

RUD - HR / Arvo-Refa

Prozessdokumentation

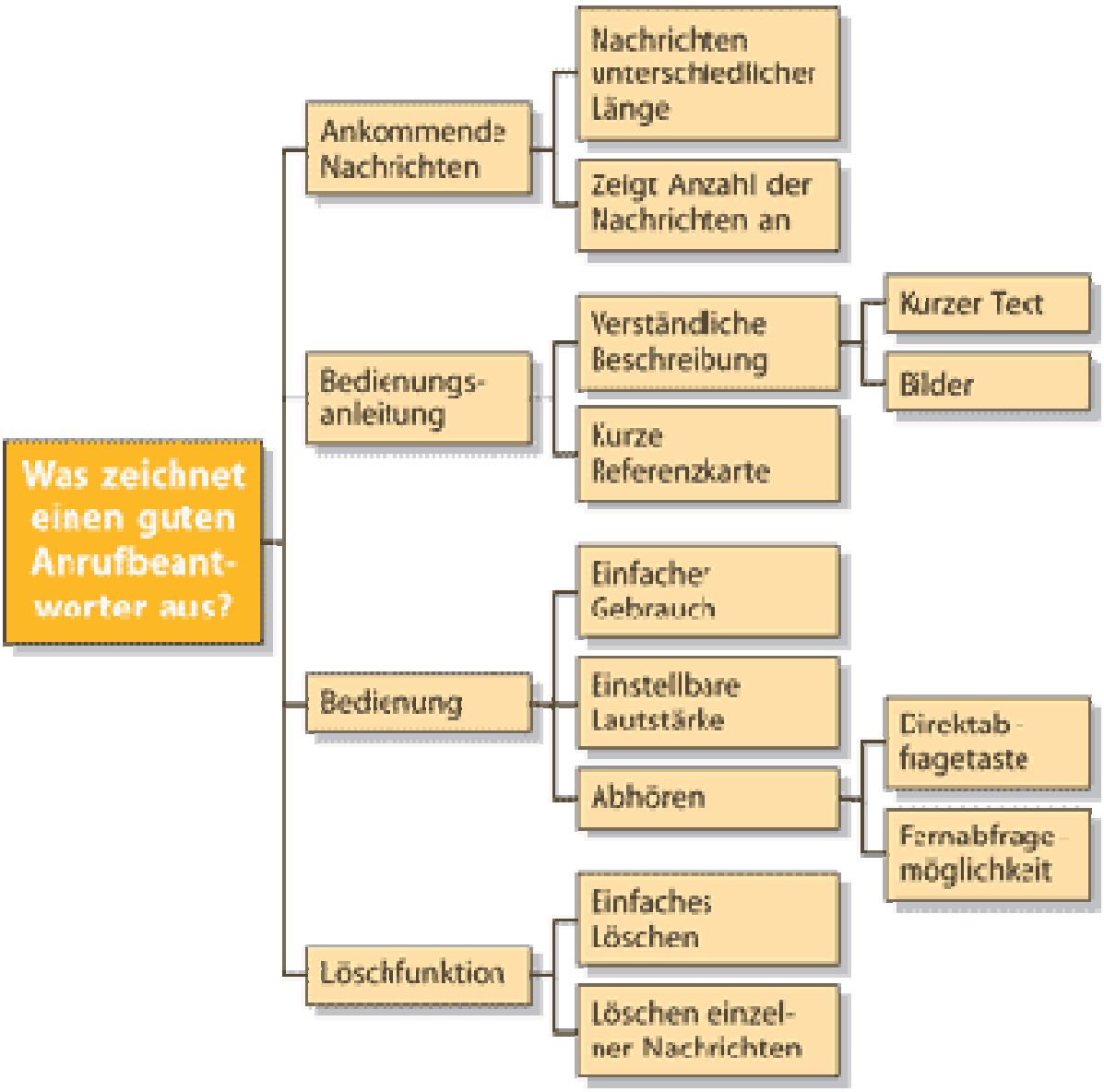
Arbeitsgang **Rüsten der Biegemaschine SB5** Zeichnr. A B C Sachnr. AB-Nr. Losgr.

Aufnahmegegenstand / Sachnr. 100

Nr.	Ablaufabschnitt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Summe	Anz.	Mittelwert	Lg.	Normalzeit
	Rüsten Schere																									
1	Einlaufschienen wechseln	3′																								
2	Messer wechseln		6′																							
3	Messer entnehmen und mit Hinterlegeplätt-chen reinigen			8′20																						
4	Messer ausmessen				10′																					
5	neue Messer einbauen					17′																				
6	Einstellen und justieren						18′																			
7	Stäbe bereitstellen/vorbereiten Zufuhr							20′																		
8	Justieren und einstellen der Stangenposition								25′																	
9	Höhe umstellen auf neuen Stabdurchmesser									28′																
10	1 Pin schneiden und beurteilen Qualität										29′															
11	Anbau Einlaufschiene seitlich und oben											31′30														
12	Einstellen Anschlag Pinlänge												36′													
13	Messen und prüfen 1 Pin													37′												
14	Neujustage und messen 2 Pin														39′											
15	Aufräumen															40′										

E. Diagrama de planificación de Ishikawa

F. Diagrama de planificación del árbol de la realidad



G. Hoja de chequeo de los 3 MUs

Lista de los Mus		
fecha:		
puesto de trabajo:		
observado por:		
evento		
Categoria	Subcategoria	Observaciones
MUDA		
Desperdicio1:		
Desperdicio2:		
Desperdicio3:		
Muri		
Sobrecarga1:	Trabajador	
Sobrecarga2:	Máquina	
Mura		
Inestabilidad1:		
Inestabilidad2:		
Inestabilidad3:		

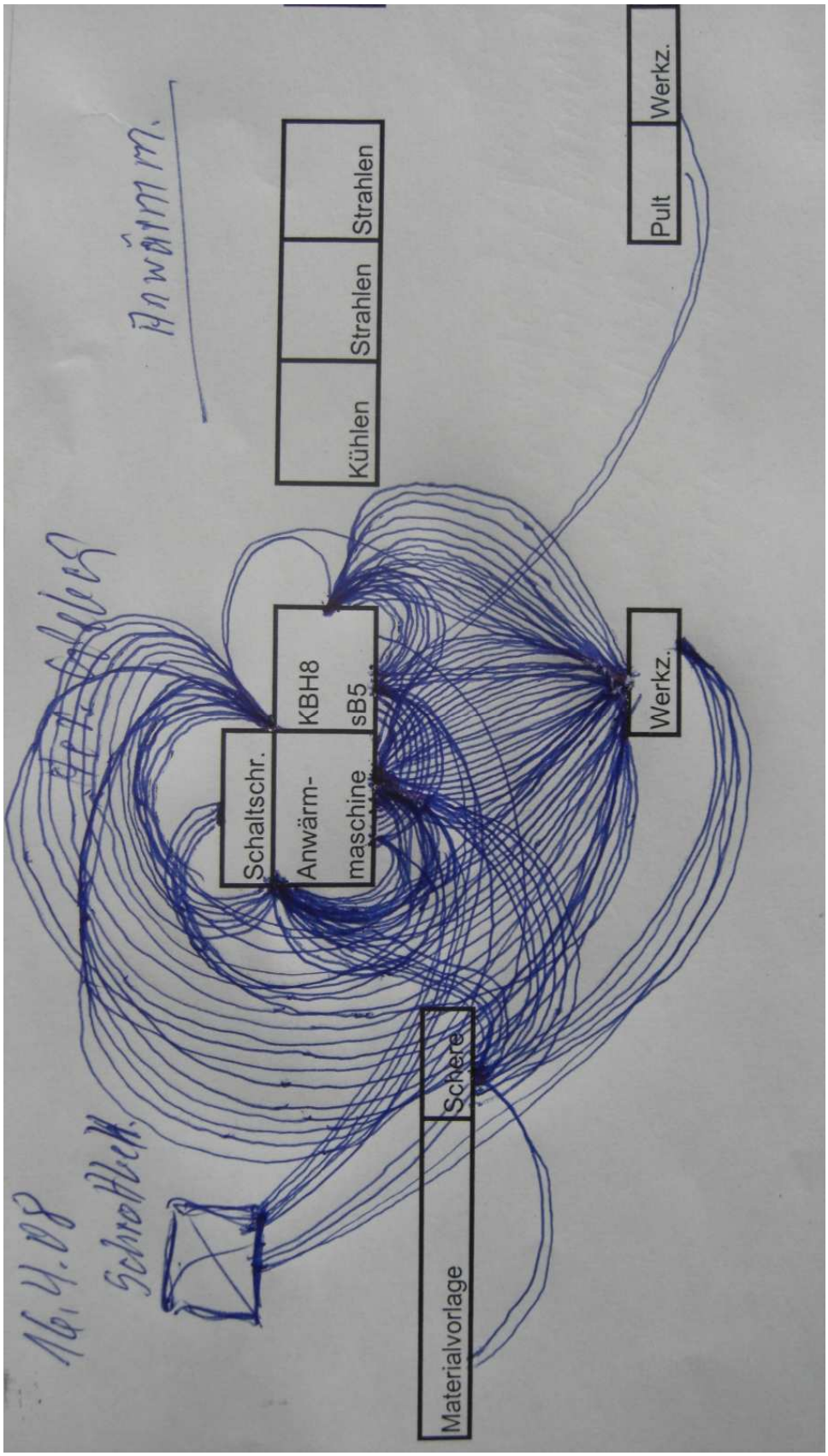
H. Gráfico de control de AMEF

FMEA
System

Nummer:
Seite:

Typ/Modell/Fertigung/Charge: Fahrzeug			Sachnummer: Maßnahmenstand:		Verantwortlich: Firma:		Erstellt: 05								
FMEA/Systemelement: Motor			Sachnummer: Maßnahmenstand:		Verantwortlich: Firma:		Erstellt: 05.12.2008 Verändert: 05.12.2008								
Fehlerfolge	B	Fehlerart	Fehlerursache	Vermeidungsmaßnahme		A	Entdeckungsmaßnahme		E	RPZ	V/T				
Systemelement: Motor															
Funktion: Motordrehzahl und Motordrehrichtung entsprechend dem Motoransteuersignal einstellen															
Ausfall der Fensterheber-steuerung. Fenster kann nicht geöffnet und geschlossen werden.	7	Ausfall Motor (Motor steht)	Offene Motorspule	Maßnahmenstand - Anfang: 05.12.2008											
				Vermeidungsmaßnahmen / A-Bewertung: Die Auftretenswahrscheinlichkeit wird als gering eingeschätzt. Bewährte konstruktive Auslegung. Detailänderungen an bewährten Serienteilen. ==> A = 3		3	Vibrationstest		2	42	Herr Meier, Karl, Abteilung K 05.12.2008 abgeschlossen				
							Temperaturtest								
							Lebensdauertest								
							E-Bewertung: Die Entdeckung einer Schwachstelle in der Auslegung der Motorspule ist aufgrund der durchgeführten Tests sehr wahrscheinlich. ==> E = 2								
			Kurzschluss der Motorversorgungsleitung nach Masse	Maßnahmenstand - Anfang: 05.12.2008											
				Vermeidungsmaßnahmen / A-Bewertung: Die Auftretenswahrscheinlichkeit wird als gering eingeschätzt. Langjährige Serienerfahrung ohne bekannte Fehlermeldungen bezüglich der betrachteten Fehlerursache. ==> A = 2		2	Vibrationstest		2	28	Herr Meier, Karl, Abteilung K 05.12.2008 abgeschlossen				
							Temperaturtest								
							Lebensdauertest								
							E-Bewertung: Die Entdeckung einer Schwachstelle in der Auslegung der Motorversorgungsleitung bzw. in der Isolierung der Motorversorgungsleitung ist aufgrund der durchgeführten Tests sehr wahrscheinlich. ==> E = 2								
			...												
Fenster öffnet und schließt mit einer zu geringen Geschwindigkeit	4	Motordrehzahl zu niedrig	Schwergängigkeit aufgrund von Lagerfehlern	Maßnahmenstand - Anfang: 05.12.2008											
				Vermeidungsmaßnahmen / A-Bewertung: Die Auftretenswahrscheinlichkeit wird als mäßig eingeschätzt. Gelegentlich auftretende Fehlerursache, geeignete, im Reifegrad fortgeschrittene Konstruktion. ==> A = 5		5	Dauerlaufversuch bei erhöhtem Stress. E-Bewertung: Die Entdeckung einer Schwachstelle in der Auslegung der Motorspule ist aufgrund des durchgeführten Tests wahrscheinlich. ==> E = 2		5	100	Herr Meier, Karl, Abteilung K 05.12.2008 abgeschlossen				
			...												
		...	...												

I. Gráfico de control de Spaghetti



J. Los elementos del VSM

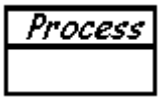
Los elementos de un mapeo de flujo de valor son las simbologías para describir todos los detalles de un proceso. La simbología utilizada en el mapeo de flujo de valor no es un estándar simple, sino hay muchas variaciones. Se crean de acuerdo a las necesidades de cada mapeo o empresa. Allí, su utilización si es estandar para que todos los que las utilizan o vean tengan el mismo patrón y las vean desde un mismo punto de vista. En este apartado se puede encontrar los elementos más importantes. Estos elementos suelen ser suficientes para la mayor parte de los mapeos de flujo de valor.

Cliente o proveedor

Este icóno representa el proveedor y se coloca dentro del recuadro del mapeo, en la parte superior del lado izquierdo.

El cliente está representado también por este icono, pero este se coloca en la parte superior en el lado derecho; representando o indicando el flujo de información.

Caja de procesos



Este icono es un proceso, operación, máquina o departamento, a través del cual fluye el material.

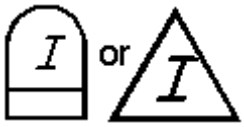
Caja de datos

Este icono se coloca abajo de la operación a realizar y contiene información importante y/o datos requeridos para la descripción del proceso determinado. La información básica que se coloca en una caja de datos, corresponde a la fabricación en lotes de fabricación, incluyendo datos respeto al cambio de herramienta, el material usado y los tiempos usados. En general se pretende trabajar con numeros y medidas.

Celda de trabajo

Este icono indica que múltiples procesos están adentro una celda de trabajo . Esta celda puede procesar un producto determinado o también fabricar productos de una o unas familias de productos.

Inventario



Estos iconos demuestran inventario en medio dos procesos. En el mapeo de los estados actuales, la cantidad de inventario pueden ser aproximado o definido de contar, y esto se anota abajo del triángulo.
Este icono también representa almacenamiento para materias primas y productos terminados. Cuando se trata de un almacén o inventario se puede especificar aun mas la informacion. Cuando se trata de un almacén de típo PEPS (Primeras Entradas, Primeras Salidas; el producto que primero se fabrica o elabora es el que primero se va a enviar a su siguiente operación o embarque.) se usa el icono siguiente.

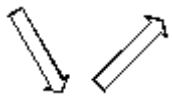
Además hay que senelar cuando se trabajo con un almacén u otor típo de inventario que se regla mediante kanban. Hay que diferneciar entre el kanban de fabricación y el kanban de retirada. Para el kanban de fabricación se utiliza el icono siguiente.

Este icono envia la señal para fabricación de un determinado número de partes. Además existe el kanban de retirada para lo cual se utiliza el icono siguiente.

Este icono ilustra que un material se va a retirar hacia un supermercado, el cual envía una señal para que la operación anterior proceda a fabricar la cantidad de piezas retiradas.

A parte de es diferencia se puede encontrar en la literatura también iconos para los diferentes típos de kanban. Asi existen iconos para kanban de señales y kanban de tarjeta. En este trabajo no se utilza esta diferencia dado que no tiene influencia respecto al fin del trabajo .

Cargamentos o flechas de trasportes

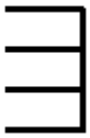


Este icono representa movimiento de materias primas desde proveedores hasta el lugar de la fábrica. Otra posibilidad es que hay movimiento de embarque de productos terminados desde la fabrica hasta el cliente.

El empuje – flecha de empuja

En un mapeo de flujo de valor avanzado se puede ver también la flecha de empuja. Este icono representa el " empuje " de material de una operación a otra o de un proceso a el siguiente.

Supermercado



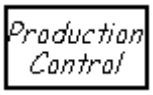
Esto es un inventario de típo "supermercado" (kanban stockpoint). Es un inventario pequeño y está disponible para cuando el cliente solicita algunos productos, se puede tomar de allí. Automáticamente se genera una tarjeta de fabricación para reposición del material tomado. Un supermercado reduce sobrefabricación y abate el inventario innnecesario. Cuando un supermercado solo sirve para la fabricación de diferentes modelos de un determiado producto o si está usado solo por un proceso determinado, se puede anadir el gráfico siguiente.

La flecha indica que el supermercado recibe la información de su composición y su rellena de dicho proceso.

Cargamento externo

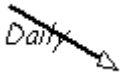
Se refiere al transporte ,ya sea de servicio al cliente o bien del transporte del surtimiento de la materia prima a la empresa o fabrica.

Control de fabricación



Este icono señala que aquí existe un departamento de control de fabricación, cual va a partir la información requerida para inicar la fabricación de un producto.

Embarque diario



Este icono señala que se proporciona información manual para la elaboración de productos, generalmente se enfoca a las órdenes de trabajo.

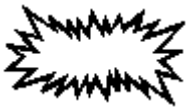
Información mensual

Este icono en forma de reyo, significa que se esta proporcionando información mensual via electrónica, la cual va a determinar la cantidad de fabricación o respuesta de la empresa.

Operario

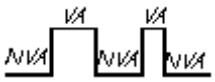
Con este símbolo se representa al personal operario en cada estación. Se utiliza este icono sobre todo, si se quiere demonstrar un cambio de la cantidad de operarios en un proceso. Cuando en el proceso se van a emplear a mas de un operario, se puede idendicar dicha cantidad también mediante un número adicional a la figura.

Atención



Este icono se emplea generalmente en el mapeo de flujo de valor cuando se quiere identicar que allí hay que prestar atención. Además se indica mejoras o cambios necesarios (antes de un evento de mejora continua) o cambios importantes realizados (después de un evento de mejora continua).

Indice de valor anadido



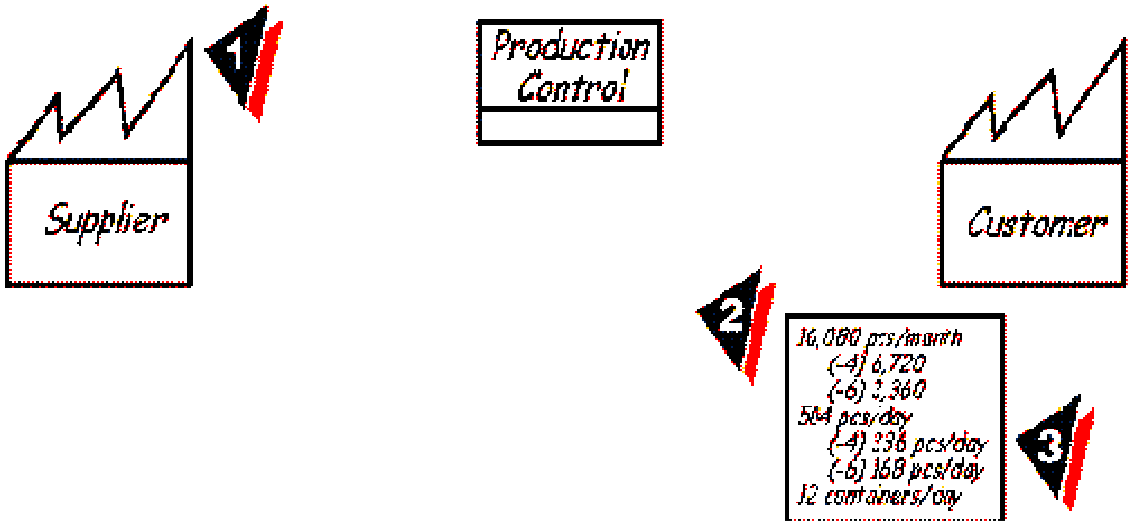
Se demuestra cuando se trata de un proceso o tiempo donde se anade valor (VA – valor anadido) y donde no se anade valor (NVA – ningun valor anadido).

K. Descripción de un desarrollo de un VSM

En los apartados siguientes se describe paso a paso el desarollo de un mapeo de flujo de valor. Asi, los primeros pasos del desarollo son los siguientes.

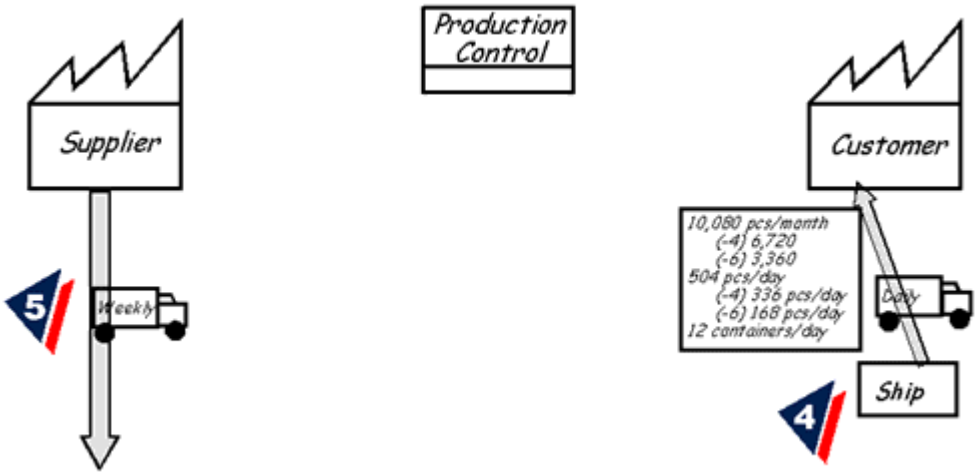
1. Dibuje el icono del proveedor, cliente y control de fabricación.
2. Coloque los requerimientos por día y por mes.
3. Colocar la fabricación diaria y sus requerimientos.

En la figura siguiente se indica un resultado de estos tres pasos fundamentales como ejemplo.

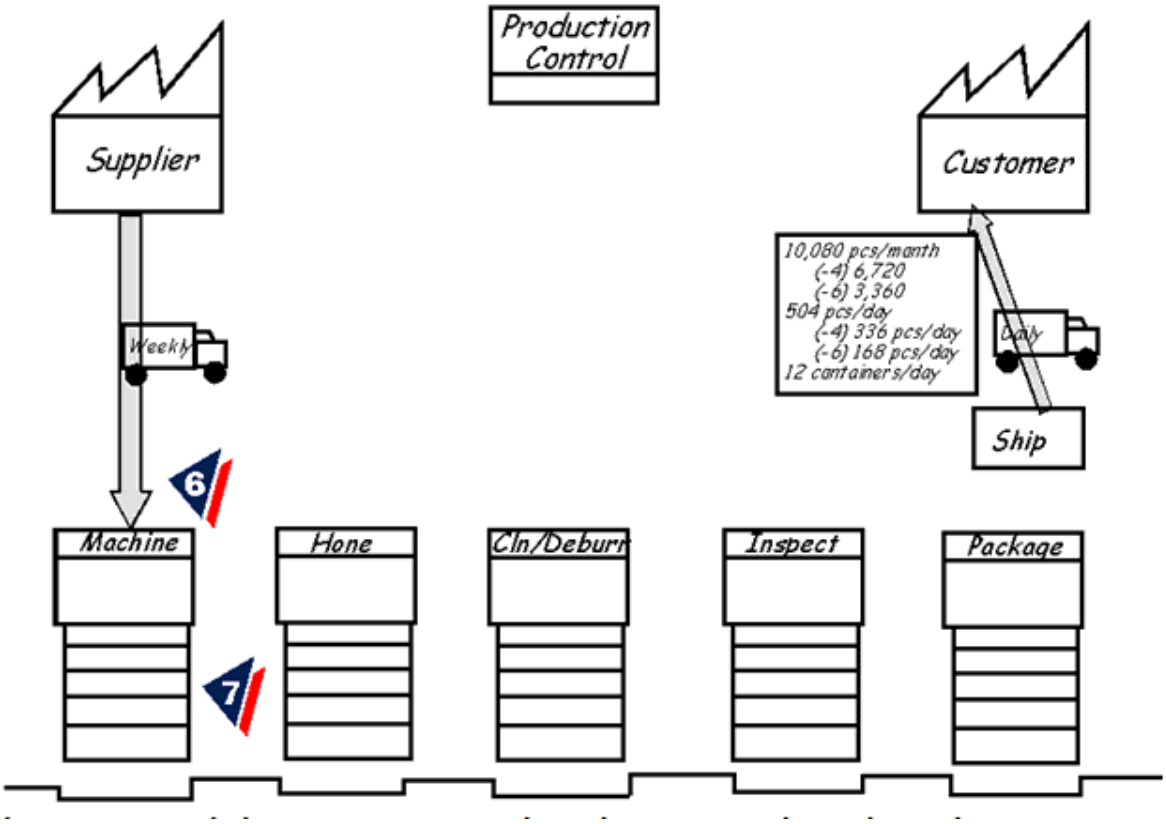


Una vez definido los primeros tres pasos se sigue con los pasos siguientes.

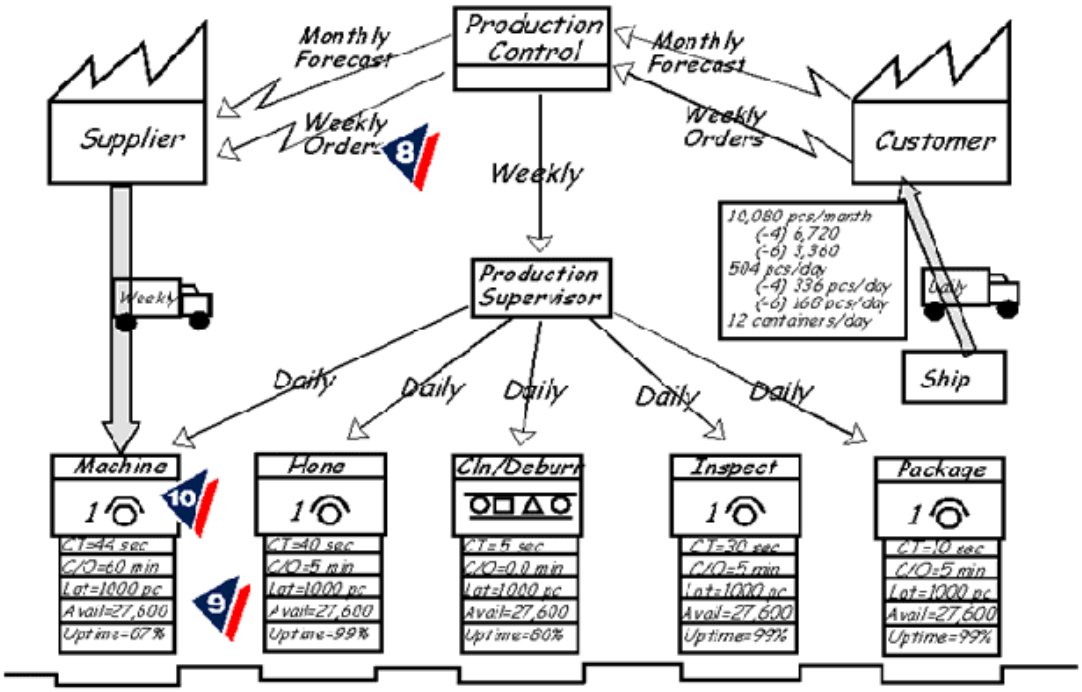
4. Dibuje el icono del envió que sale al cliente y dentro la frecuencia de entregas.
5. Dibuje el icono de la entrega al proveedor y dentro la frecuencia de entrega.



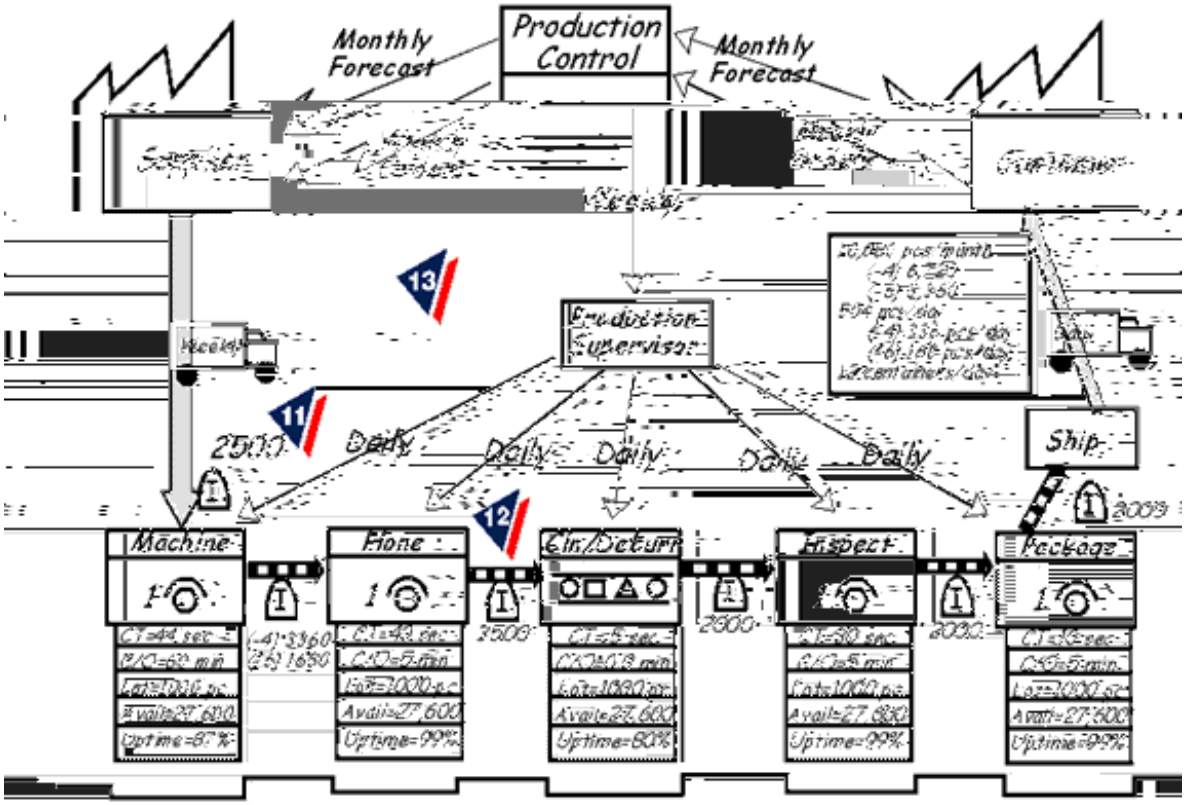
6. Se agrega los iconos del proceso en orden de izquierda a derecha.
7. Se agrega los iconos de informacion en abajo de cada proceso.



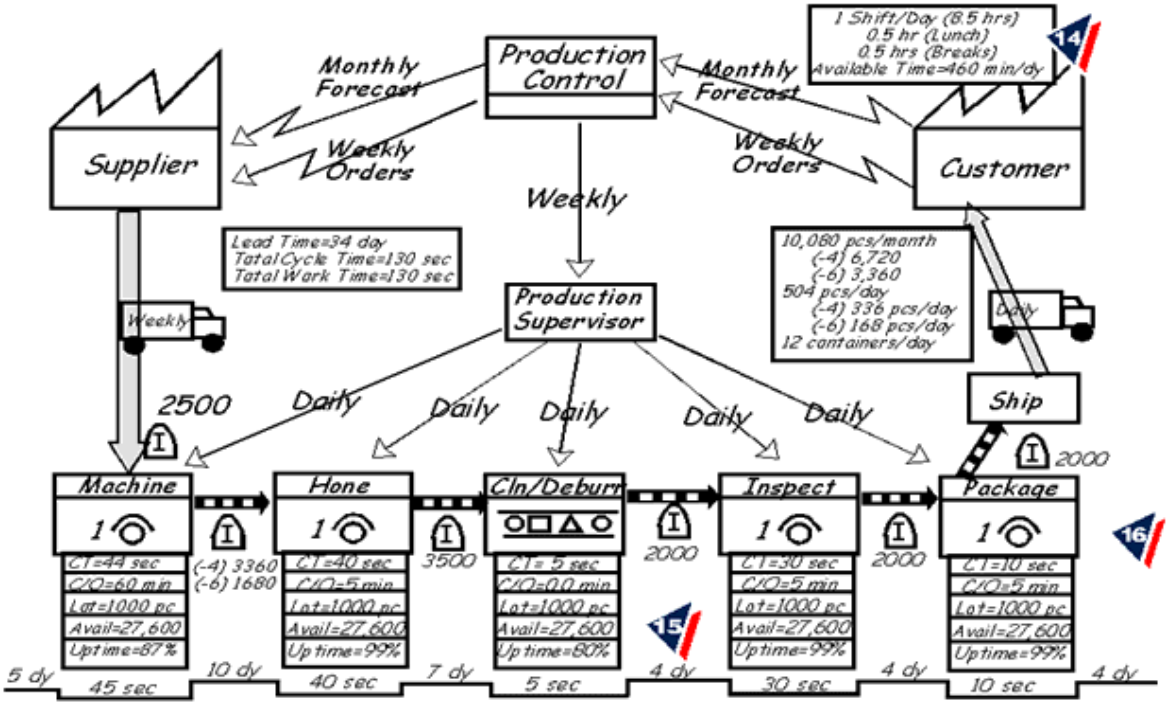
8. Ahora se adjunta todos los iconos de comunicacion e información y frecuencia en que se ejecuta.
9. Se obtiene la información del proceso y se la agrage en la caja de texto correspondiente.
10. Agrega los iconos y la cantidad de operadores.



11. Se agrega los iconos de inventarios y los dias.
12 Agrega los iconos de empuje.
13. Agrega alguna otra información que sea util o necesario para la descripción del proceso.

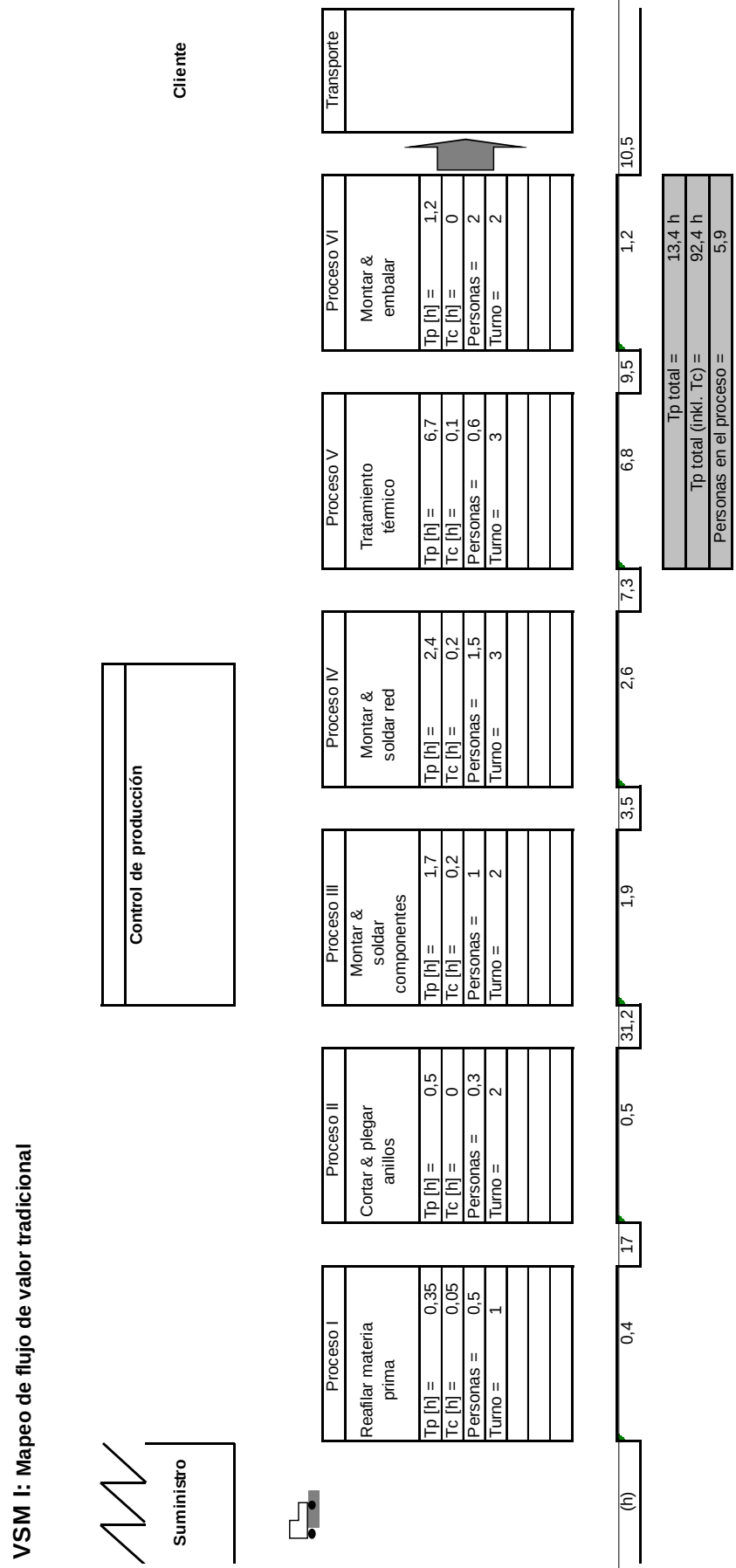


14. Agrega las horas del proceso.
15. Revisa los ciclos del proceso.
16. Calcule el tiempo de ciclo total y los dias requeridos.

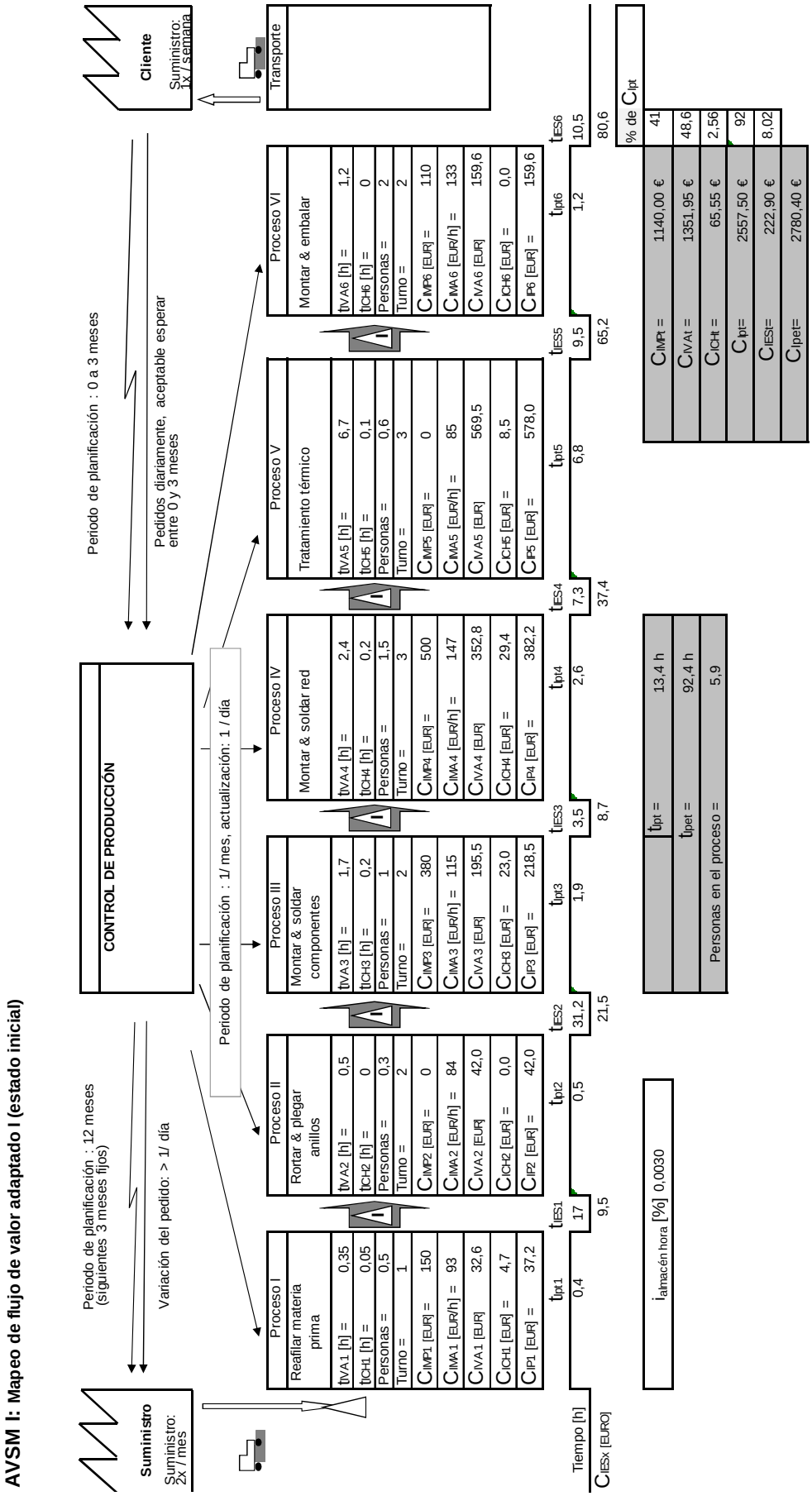


A partir de la descripción del proceso actual, que se ha eleborado hasta ahora, hay que empezar encontrar los puntos fuertes y débiles

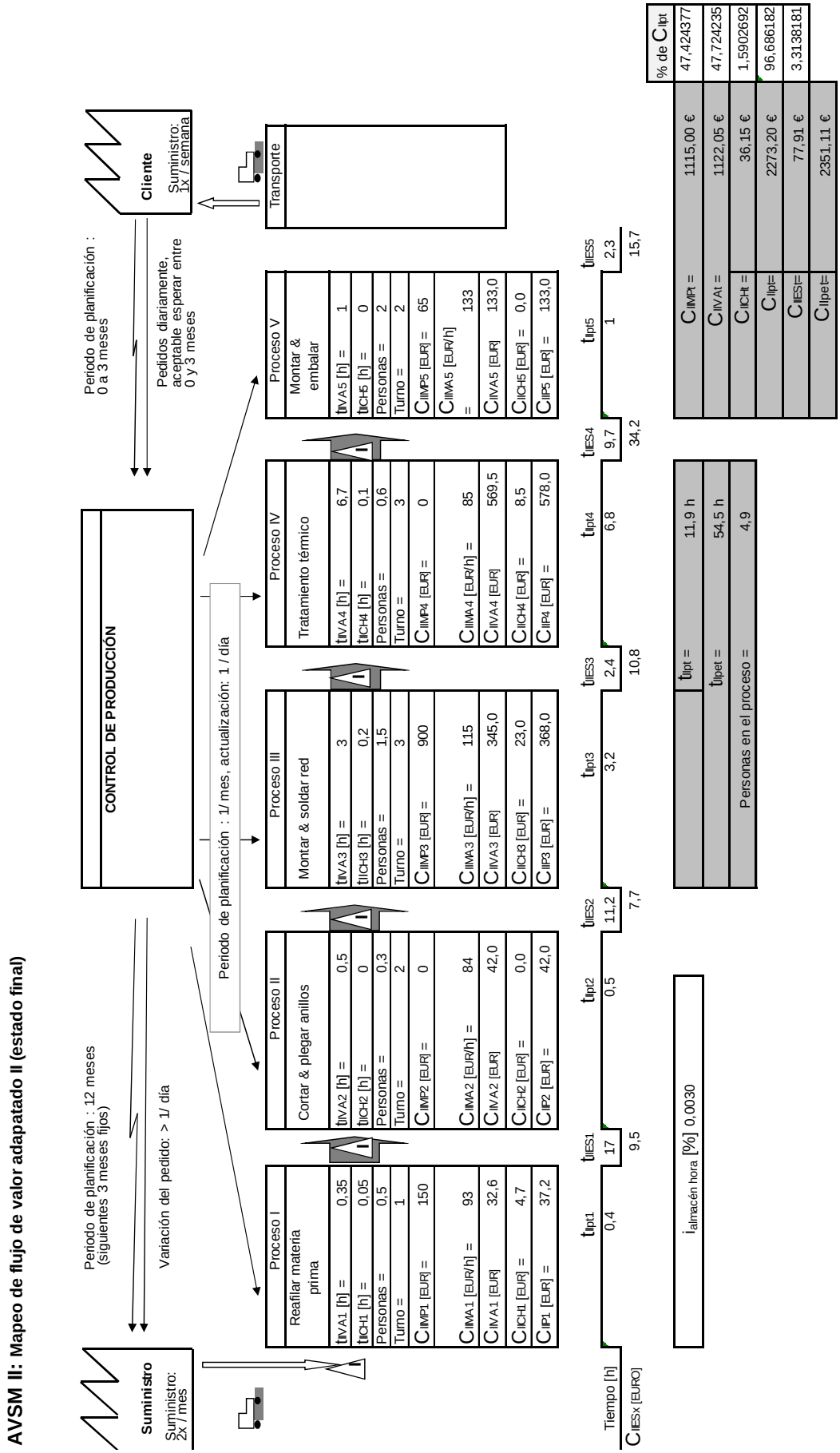
L. VSM del estado inicial



M. AVSM I (del estado inicial)



N. AVSM II (del estado final)



O. Descripción del los valores de la figura 6.10.

t_{lce1} = 0,4 horas
= tiempo al terminar el proceso I del PCT I

t_{lce2} = 17,4 horas
= tiempo al terminar el procesos I incluyendo la espera

t_{lce3} = 17,9 horas
= tiempo al terminar el proceso II

t_{lce4} = 49,1 horas
= tiempo al terminar los procesos I y II incluyendo la espera

t_{lce5} = 51 horas
= tiempo al terminar los procesos I, II y III

t_{lce6} = 54,5 horas
= tiempo al terminar todos los procesos I, II y III incluyendo la espera

t_{lce7} = 57,1 horas
= tiempo al terminar los procesos I, II, III y IV

t_{lce8} = 64,4 horas
= tiempo al terminar todos los procesos I, II, III y IV incluyendo la espera

t_{lce9} = 71,2 horas
= tiempo al terminar los procesos I, II, III, IV y V

t_{lce10} = 80,7 horas
= tiempo al terminar todos los procesos I, II, III, IV y V incluyendo la espera

t_{lce11} = 81,9 horas
= tiempo al terminar los procesos I, II, III, IV, V y VI

$t_{lce12}=t_{let}$ = 92,4 horas
= tiempo al terminar todos los procesos incluyendo la espera

C_{lce0} = 150 euro
= coste de la materia prima para realizar el proceso I

C_{lce1} = 187,2 euro
= coste al terminar el proceso I

C_{lce2} = 196,7 euro
= coste al terminar el proceso I y la espera

C_{lce3} = 238,8 euro
= coste al terminar los procesos I y II

C_{Ice4} = 261,1 euro
= coste al terminar los procesos I y II y la espera

C_{Ice5} = 641,1 euro
= coste al terminar los procesos I, II y III y la espera añadiendo la materia prima del proceso III

C_{Ice6} = 859,6 euro
= coste al terminar los procesos I, II y III

C_{Ice7} = 868,6 euro
= coste al terminar los procesos I, II y III y la espera

C_{Ice8} = 1368,6 euro
= coste al terminar los procesos I, II y III y la espera añadiendo la materia prima del proceso IV

C_{Ice9} = 1750,81 euro
= coste al terminar los procesos I, II, III y IV

C_{Ice10} = 1789,1 euro
= coste al terminar los procesos I, II, III y IV y la espera

C_{Ice11} = 2367,1 euro
= coste al terminar los procesos I, II, III, IV y V

C_{Ice12} = 2434,6 euro
= coste al terminar los procesos I, II, III, IV y V y la espera

C_{Ice13} = 2544,6 euro
= coste al terminar los procesos I, II, III, IV y V y la espera añadiendo la materia prima del proceso VI

C_{Ice14} = 2704,2 euro
= coste al terminar los procesos I, II, III, IV, V y VI

C_{Ice15} = 2789,4 euro
= coste al terminar todos los procesos y la espera

P_{Ix}: proceso x del PCT I

M_{Ix}: materia prima añadida durante el proceso x del PCT I

E_{Ix}: espera después al terminar el proceso x del PCT I

P. Tiempos y costes del PCT I y del PCT II con espera

t_{ICH1} = 0,05 horas
= tiempo para realizar el proceso de cambio de herramienta 1

t_{ICH3} = 0,20 horas
= tiempo para realizar el proceso de cambio de herramienta 3

t_{ICH4} = 0,20 horas
= tiempo para realizar el proceso de cambio de herramienta 4

t_{ICH5} = 0,10 horas
= tiempo para realizar el proceso de cambio de herramienta 5

t_{ICHt} = 0,55 horas
= tiempo para realizar todos los procesos de cambio de herramienta

C_{ICH1} = 4,7 €
= coste para realizar el proceso de cambio de herramienta 1

C_{ICH3} = 23 €
= coste para realizar el proceso de cambio de herramienta 3

C_{ICH4} = 29,4 €
= coste para realizar el proceso de cambio de herramienta 4

C_{ICH5} = 8,5 €
= coste para realizar el proceso de cambio de herramienta 5

C_{ICHt} = 65,6 €
= coste para realizar todos los procesos de cambio de herramienta

Q. Costes de la figura 5.26.

C_1	coste incluyendo la materia prima añadida durante el proceso 1
C_2	coste incluyendo la materia prima añadida durante el proceso 1 y el coste por el cambio de la herramienta
C_3	coste incluyendo la materia prima, el cambio de herramienta y el proceso de valor añadido del proceso 1
C_4	coste incluyendo la materia prima, el cambio de herramienta, el proceso de valor añadido y la espera del proceso 1, igual al coste total del proceso 1
C_5	coste incluyendo la materia prima añadida durante el proceso 2 y los costes del proceso 1
C_6	coste incluyendo la materia prima añadida, el coste por el cambio de la herramienta durante el proceso 2 y los costes del proceso 1
C_7	coste incluyendo la materia prima, el cambio de herramienta y el proceso de valor añadido del proceso 2 y los costes del proceso1
C_t	coste incluyendo la materia prima, el cambio de herramienta , el proceso de valor añadido y la espera del proceso 2, igual al coste total del proceso 1 y 2, igual al coste total de la fabricación

R. Costes y tiempos de la figura 5.27.

t_{I1}	tiempo al terminar el proceso I del PCT I
t_{I2}	tiempo al terminar el proceso II del PCT I
t_{I3}	tiempo al terminar el proceso III del PCT I
t_{I4}	tiempo al terminar el proceso IV del PCT I
t_{I5}	tiempo al terminar el proceso V del PCT I
$t_{I6} = t_{It}$	tiempo al terminar el proceso VI del PCT I
C_{I0}	coste al añadir la materia prima del proceso III del PCT I
C_{I1}	coste al terminar el proceso I del PCT I
C_{I2}	coste al terminar el proceso II del PCT I
C_{I3}	coste al terminar el proceso II añadiendo la materia prima del proceso III del PCT I
C_{I4}	coste al terminar el proceso III del PCT I
C_{I5}	coste al terminar el proceso III añadiendo la materia prima del proceso IV del PCT I
C_{I6}	coste al terminar el proceso IV del PCT I
C_{I7}	coste al terminar el proceso V del PCT I
C_{I8}	coste al terminar el proceso V añadiendo la materia prima del proceso VI del PCT I
$C_{I9}=C_{It}$	coste al terminar todos los procesos del PCT I

S. Tabla de las inversiones del PCT I sin espera

	PI1	PI2	PI3	PI4	PI5	PI6	∑ PECOTA I
tICHx	0,05	0,00	0,20	0,20	0,10	0,00	0,55
tIVAx	0,35	0,50	1,70	2,40	6,70	1,20	12,85
tIpx	0,40	0,50	1,90	2,60	6,80	1,20	13,40
CI(x-1)t	0,00	187,30	229,30	827,80	1.710,00	2.288,00	
CIMPx	150,00	0,00	380,00	500,00	0,00	110,00	1.140,00
CICHx	4,70	0,00	23,00	29,40	8,50	0,00	65,60
CIVAx	32,60	42,00	195,50	352,80	569,50	159,60	1.352,00
CIVAx + CICHx + CIMPx	187,30	42,00	598,50	882,20	578,00	269,60	
CIIxpt	187,30	229,30	827,80	1.710,00	2.288,00	2.557,60	
IIMPx	**60,00**	**0,00**	**722,00**	**1.300,00**	**0,00**	**132,00**	**2.214,00**
IICHx	**1,76**	**0,00**	**41,40**	**73,50**	**57,38**	**0,00**	**174,04**
IIVAx	**5,71**	**10,50**	**166,18**	**423,36**	**1.907,83**	**95,76**	**2.609,33**
Ixabs.	**67,47**	**10,50**	**929,58**	**1.796,86**	**1.965,20**	**227,76**	**4.997,36**
Ixac.pro.	**0,00**	**93,65**	**435,67**	**2.152,28**	**11.628,00**	**2.745,60**	**17.055,20**
Ixac.fab.	**67,47**	**104,15**	**1.365,25**	**3.949,14**	**13.593,20**	**2.973,36**	**22.052,56**
Itac.fab.	**67,47**	**171,62**	**1.536,86**	**5.486,00**	**19.079,20**	**22.052,56**	

T. Tabla de las inversiones del PCT II sin espera

	P_{II1}	P_{II2}	P_{II3}	P_{II4}	P_{II5}	∑ PECOTA I
t_{IICHx}	0,05	0,00	0,20	0,10	0,00	0,35
t_{IIVAx}	0,35	0,50	3,00	6,70	1,00	11,55
t_{IIxp}	0,40	0,50	3,20	6,80	1,00	11,90
$C_{II(x-1)t}$	0,00	187,30	229,30	1.520,30	2.098,30	
C_{IIIMPx}	150,00	0,00	900,00	0,00	65,00	1.115,00
C_{IICHx}	4,70	0,00	23,00	8,50	0,00	36,20
C_{IIVAx}	32,60	42,00	368,00	569,50	133,00	1.145,10
$C_{IIVAx} + C_{IICHx} + C_{IIIMPx}$	187,30	42,00	1.291,00	578,00	198,00	
C_{IIxpt}	187,30	229,30	1.520,30	2.098,30	2.296,30	
I_{IIMPx}	**60,00**	**0,00**	**2.880,00**	**0,00**	**65,00**	**3.005,00**
I_{IICHx}	**1,76**	**0,00**	**71,30**	**57,38**	**0,00**	**130,44**
I_{IIVAx}	**5,71**	**10,50**	**552,00**	**1.907,83**	**66,50**	**2.542,53**
$I_{IIxabs.}$	**67,47**	**10,50**	**3.503,30**	**1.965,20**	**131,50**	**5.677,97**
$I_{IIxac.pro.}$	**0,00**	**93,65**	**733,76**	**10.338,04**	**2.098,30**	**13.263,75**
$I_{IIxac.fab.}$	**67,47**	**104,15**	**4.237,06**	**12.303,24**	**2.229,80**	**18.941,72**
$I_{IItac.fab.}$	**67,47**	**171,62**	**4.408,68**	**16.711,92**	**18.941,72**	

U. Tabla de las relaciones de las inversiones sin espera

	PI1	PI2	PI3	PI4	PI5	PI6	PII1	PII2	PII3	PII4	PII5
CIIxpt	187,30	229,30	827,80	1.710,00	2.288,00	2.557,60	187,30	229,30	1.520,30	2.098,30	2.296,30
I/IIMPx	60,00	0,00	722,00	1.300,00	0,00	132,00	60,00	0,00	2.880,00	0,00	65,00
I/IICHx	1,76	0,00	41,40	73,50	57,38	0,00	1,76	0,00	71,30	57,38	0,00
I/IIVAx	5,71	10,50	166,18	423,36	1.907,83	95,76	5,71	10,50	552,00	1.907,83	66,50
I/IIxabs.	67,47	10,50	929,58	1.796,86	1.965,20	227,76	67,47	10,50	3.503,30	1.965,20	131,50
I/IIxac.pro.	0,00	93,65	435,67	2.152,28	11.628,00	2.745,60	0,00	93,65	733,76	10.338,04	2.098,30
I/IIxac.fab.x	67,47	104,15	1.365,25	3.949,14	13.593,20	2.973,36	67,47	104,15	4.237,06	12.303,24	2.229,80
I/IItac.fab.t	67,47	171,62	1.536,86	5.486,00	19.079,20	22.052,56	67,47	171,62	4.408,68	16.711,92	18.941,72

	PI1	PI2	PI3	PI4	PI5	PI6	PII1	PII2	PII3	PII4	PII5
Relación MP/CH = RIMPCHx	34,04	0	17,44	17,69	0,00	0	34,04	0	40,39	0,00	0
Relación MP/VA = RIMPVAx	10,52	0,00	4,34	3,07	0,00	1,38	10,52	0,00	5,22	0,00	0,98
Relación MP/abs. = RIMPabs.x	0,89	0,00	0,78	0,72	0,00	0,58	0,89	0,00	0,82	0,00	0,49
Relación MP/ac.pro. = RIMPac.pro.x	0	0,00	1,66	0,60	0,00	0,05	0	0,00	3,92	0,00	0,03
Relación MP/ac.fab.x = RIMPac.fab.x	0,89	0,00	0,53	0,33	0,00	0,04	0,89	0,00	0,68	0,00	0,03
Relación MP/ac.fab.t = RIMPac.fab.t	0,89	0,00	0,47	0,24	0,00	0,01	0,89	0,00	0,65	0,00	0,00
Relación CH/MP = RICHMPx	0,03	0	0,06	0,06	0	0,00	0,03	0	0,02	0	0,00
Relación CH/VA = RICHVAx	0,31	0,00	0,25	0,17	0,03	0,00	0,31	0,00	0,13	0,03	0,00
Relación CH/abs. = RICHabs.x	0,03	0,00	0,04	0,04	0,03	0,00	0,03	0,00	0,02	0,03	0,00
Relación CH/ac.pro. = RICHac.pro.x	0	0,00	0,10	0,03	0,00	0,00	0	0,00	0,10	0,01	0,00
Relación CH/ac.fab.x = RICHac.fab.x	0,03	0,00	0,03	0,02	0,00	0,00	0,03	0,00	0,02	0,00	0,00
Relación CH/ac.fab.t = RICHac.fab.t	0,03	0,00	0,03	0,01	0,00	0,00	0,03	0,00	0,02	0,00	0,00
Relación VA/MP = RIVAMPx	0,10	0	0,23	0,33	0	0,73	0,10	0	0,19	0	1,02
Relación VA/CH = RIVACHx	3,24	0	4,01	5,76	33,25	0	3,24	0	7,74	33,25	0
Relación VA/abs. = RIVAabs.x	0,08	1,00	0,18	0,24	0,97	0,42	0,08	1,00	0,16	0,97	0,51
Relación VA/ac.pro. = RIVAac.pro.x	0	0,11	0,38	0,20	0,16	0,03	0	0,11	0,75	0,18	0,03
Relación VA/ac.fab.x = RIVAac.fab.x	0,08	0,10	0,12	0,11	0,14	0,03	0,08	0,10	0,13	0,16	0,03
Relación VA/ac.fab.t = RIVAac.fab.t	0,08	0,06	0,11	0,08	0,10	0,00	0,08	0,06	0,13	0,11	0,00
Relación abs./pro.ac. = Rlabs.ac.pro.	0	0,11	2,13	0,83	0,17	0,08	0	0,11	4,77	0,19	0,06
Relación abs./ac.fab.x = Rlabs.ac.fab.x	1,00	0,10	0,68	0,46	0,14	0,08	1,00	0,10	0,83	0,16	0,06
Relación abs./fab.t = Rlabs.ac.fab.t	1,00	0,06	0,60	0,33	0,10	0,01	1,00	0,06	0,79	0,12	0,01
Relación ac.pro./abs. = Riac.pro.abs.	0,00	8,92	0,47	1,20	5,92	12,05	0,00	8,92	0,21	5,26	15,96
Relación ac.pro./ac.fab.x = Riac.pro.ac.fab.x	0,00	0,90	0,32	0,54	0,86	0,92	0,00	0,90	0,17	0,84	0,94
Relación ac.pro./fab.t = Riac.pro.ac.fab.t	0,00	0,55	0,28	0,39	0,61	0,12	0,00	0,55	0,17	0,62	0,11
Relación ac.fab.x/abs. = Riac.fab.x.abs.	1,00	9,92	1,47	2,20	6,92	13,05	1,00	9,92	1,21	6,26	16,96
Relación ac.fab.x/ac.pro. = Riac.fab.xac.pro.	0	1,11	3,13	1,83	1,17	1,08	0	1,11	5,77	1,19	1,06
Relación ac.fab.x/fab.t = Riac.fab.xac.fab.t	1,00	0,61	0,89	0,72	0,71	0,13	1,00	0,61	0,96	0,74	0,12

	PI/II1	PI/II2	PI3/4 PII3	PI5 PII4	PI6 PII5
Relación MP I / MP II = RI/IIMPx	1,00	0	0,70	0	2,03
Relación CH I / CH II = RI/IICHx	1,00	0	1,61	1,00	0
Relación VA I / VA II = RI/IIVAx	1,00	1,00	1,07	1,00	1,44
Relación abs. I/abs. II = RI/Iabs.	1,00	1,00	0,78	1,00	1,73
Relación ac.pro.I/ac.pro.II = RI/IIac.pro.	0	1,00	3,53	1,12	1,31
Relación ac.fab.xI/ac.fab.xII = RI/IIac.fab.x	1,00	1,00	1,25	1,10	1,33
Relación ac.fab.tI/ac.fab.tII = RI/IIac.fab.t	1,00	1,00	1,59	1,14	1,16