

## Modelo para el análisis comparativo entre el management convencional y el *lean management* en los procesos de producción. Aplicación a un caso de ensamblaje

Lluís Cuatrecasas Arbós<sup>1</sup>, Carolina Consolación Segura<sup>2</sup>

1 Ingeniero Industrial, Universitat Politècnica de Catalunya,

C/ Jordi Girona, 1-3; edificio C-5; 08034-Barcelona, [lluis.cuatrecasas@upc.es](mailto:lluis.cuatrecasas@upc.es)

<sup>2</sup> Economista, Universitat Politècnica de Catalunya,

C/Jordi Girona, 1-3; edificio C-5; 08034-Barcelona, [carolina.consolacion@upc.es](mailto:carolina.consolacion@upc.es)

### RESUMEN

*En este trabajo se propone una metodología para la implantación y análisis comparativo de un sistema productivo, con un doble enfoque: en primer lugar, el correspondiente a la gestión «convencional», con la productividad como objetivo prioritario, gestionando el sistema productivo operación a operación y basando su eficiencia y competitividad en las economías de escala. A continuación, se lleva a cabo la implantación del mismo proceso, de acuerdo con los principios de la «Lean Production», que hace énfasis, no sólo en la productividad, sino también en el tiempo de entrega, la flexibilidad y la calidad entre otros objetivos y gestiona el proceso como un todo (y no operación a operación), eliminando los denominados «desperdicios» o «waste». A partir de estos elementos, se podrá establecer un análisis comparativo de las magnitudes clave de la eficiencia y competitividad de ambas implantaciones. Por otra parte, la metodología para la implantación con ambos enfoques, así como el análisis comparativo, se aplicarán a un caso de diseño, implantación y evaluación de una planta de ensamblaje.*

**Palabras clave:** *Lean Production, Layout, Lotes de Transferencia, Lead Time, Flexibilidad*

### 1. Introducción.

Los sistemas productivos, tal y como han sido gestionados sistemáticamente a lo largo del siglo XX, enfatizan en la *productividad* como objetivo prioritario. Además, este enfoque gestiona el sistema productivo operación a operación, y basa su eficiencia y competitividad en las economías de escala derivadas de operar con grandes lotes. Este sistema sigue aún muy vigente, sobre todo en las pequeñas y medianas empresas.

Sin embargo, este modelo de gestión es muy distinto al que se considera realmente avanzado en la actualidad, el cual está imponiéndose progresivamente en este siglo XXI: la gestión basada en los principios de la denominada «*Lean Production*», que está permitiendo a las empresas obtener niveles muy elevados de eficiencia, competitividad y flexibilidad para los sistemas productivos. Esta tendencia de gestión hace énfasis, no solo en la productividad, sino también en el *tiempo de respuesta*, la *flexibilidad* y la *calidad* entre otros objetivos. Por otra parte, basa su eficiencia en la gestión del proceso como un todo (y no operación a operación), para el que se eliminarán las actividades que no aporten valor añadido (denominadas «*desperdicios*» o «*waste*»).

Además, las tendencias más innovadoras en la gestión de todos los procesos de la empresa y, por tanto, más allá del área de las operaciones, están incorporando también los principios de la gestión *Lean*, tratando de alcanzar los mismos niveles de eficiencia y competitividad que ésta permite, pero a nivel de toda la empresa, dando lugar con ello, al enfoque de gestión que se está ya conociendo como «*Lean Management*» [1].

La metodología para la implantación de un sistema productivo que, con un doble enfoque, proponemos en este trabajo, se compone de dos etapas:

1. *Implantación* física, que comportará la definición de cuantos elementos y aspectos sea conveniente, entre los que destacaremos:
  - Layout (tipo de procesos, sistemas de transporte y tipo de equipamientos)
  - Operaciones (incluyendo el tamaño de los lotes y el stock generado)
  - Personal (tipo y capacitación)
  - Gestión de la calidad y mantenimiento (eliminación de incidencias por defectos de calidad y paros no programados)
  - Nivel de flexibilidad alcanzado (indispensable en la gestión *Lean*)
  
2. Determinación de las *magnitudes* relevantes del sistema productivo, estableciendo directamente las que puedan fijarse libremente (tales como el número de trabajadores y de máquinas, la duración de la jornada de trabajo y el tamaño de los lotes) y determinación, por cálculo, de las que vengan fijadas por la implantación y las magnitudes ya establecidas (tales como los tiempos de proceso y de ciclo, la producción obtenida y el stock generado); a estas últimas magnitudes, las denominaremos «resultados».

Ambas etapas se aplicarán al diseño e implantación convencional y al correspondiente con enfoque *Lean*. Posteriormente llevaremos a cabo el análisis comparativo entre ambas implantaciones.

## **2. Proceso productivo de ensamblaje.**

Para comprender mejor la metodología con las pautas para llevar a cabo la implantación del sistema productivo, sea con enfoque convencional o enfoque *lean*, así como el correspondiente análisis comparativo, efectuaremos todo ello sobre un caso de planta de ensamblaje, de *magnetoscopios* o *vídeos* domésticos.

Se trata de un modelo cuyas características esenciales son: equipo con prestaciones básicas, función de grabación con una sola tecla, temporización de OFF en reproducción, función *replay* y fijación de imagen de alta calidad.

La planta, albergará los procesos y operaciones que se detallan en el cuadro de la figura 1, que se muestra a continuación.

Además, los procesos deberán implantarse de acuerdo con su diagrama de precedencias, que se muestra en la figura 2.

PLANTA DE ENSAMBLAJE DE VÍDEOS DOMÉSTICOS: PROCESOS, OPERACIONES Y TIEMPOS (segundos)					
<b>A: Mecanismo de carga</b>			<b>D: Panel electrónico</b>		
			<b>D1: Circuitos básicos</b>		
1	Insertar ruedas y engranajes en chasis mecanismo	20	28	Insertión del circuito sintonizador	10
2	Colocar correas y poleas	12	29	Insertión del circuito demodulador	10
3	Insertar y conectar el motor de carga	10	30	Insertión del circuito modulador	10
<b>B: Servomecanismos</b>			31	Colocar amplificador de audio	18
			32	Insertión del circuito de control de video	12
<b>B1: Inserción de los elementos del sistema</b>					<b>60</b>
4	Fijar y conectar el motor del tambor	15	<b>D2: Elementos de entrada y salida</b>		
5	Insertar el tambor porta cabezales	5	33	Insertión del circuito receptor de IR	9
6	Colocar tensores, guías de la cinta y brazo tensor	14	34	Insertión del display	25
7	Insertar y conectar motor del rodete	20	35	Colocar la botonera	18
8	Colocar polea intermedia	8	<b>52</b>		
9	Colocar poleas de presión y frenos	10	<b>D3: Conexión de módulos</b>		
10	Insertar rodete alimentador	6	36	Conectar los elementos correspondientes	25
11	Colocar cabezales	14	<b>25</b>		
12	Insertión y conexión del circuito de control	10	<b>E: Ensamblaje final</b>		
<b>102</b>			<b>E1: Inserción de los módulos premontados</b>		
<b>B2: Ajustes mecánicos y eléctricos</b>			41	Preparar el chasis del magnetoscopio	10
13	Ajustar las guías de la cinta	12	42	Colocar y fijar el mecanismo de carga	17
14	Ajustar la tensión de la cinta	15	43	Colocar y fijar el servomecanismo	20
15	Ajustar el cabezal de borrado	18	44	Insertar y fijar la carcasa de alimentación	16
16	Ajustar el cabezal de audio	20	45	Colocar y fijar el panel electrónico	15
17	Ajustar el par de los rodetes	23	<b>78</b>		
18	Ajuste eléctrico del servomecanismo	30	<b>E2: Cableado y tapa</b>		
<b>C: Alimentación</b>			46	Conectar cables a la alimentación	10
			47	Conectar cables al servomecanismo	14
<b>C1: Inserción de los elementos</b>			48	Colocar y fijar la cubierta del display	8
19	Colocar el transformador	10	49	Colocar y fijar la botonera	15
20	Insertión del circuito regulador	8	50	Colocar y fijar la tapa del chasis	10
21	Fijación de elementos a la carcasa	15	<b>57</b>		
<b>33</b>			<b>F: Control de calidad del producto acabado</b>		
<b>C2: Conexión</b>			51	Control de calidad del video	180
22	Colocación de conectores externos de la fuente	10	<b>180</b>		
23	Insertar cableado de salida	7			
24	Colocar conectores de entrada y salida de RF	12			
25	Colocar euroconectores	15			
26	Colocar conectores de salida audio-video	14			
27	Colocar conectores de entrada audio-video	15			
<b>73</b>					

Figura 1: Procesos y operaciones de la planta de ensamblaje

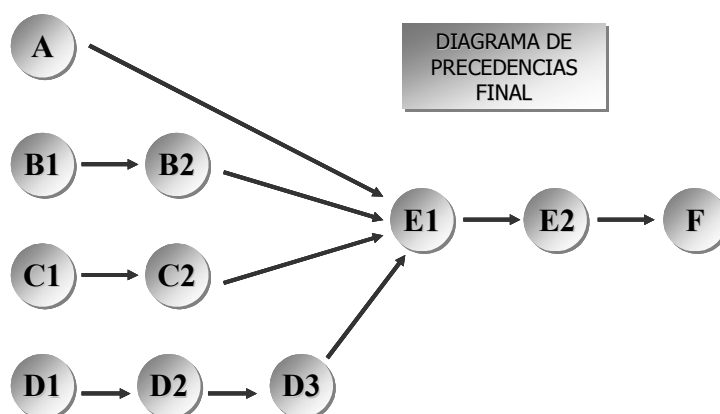


Figura 2: Diagrama de precedencias de la planta

### 3. El sistema productivo convencional.

De acuerdo con lo expuesto, llevaremos a cabo una implantación con enfoque convencional, para luego hacer lo propio para una implantación «lean», todo lo cual se aplicará al caso de proceso de ensamblaje propuesto. Las pautas de la implantación física a efectuar, en la etapa primera de la metodología ya definida, por lo que a las características del enfoque convencional se refiere, serán:

- ▶ *Layout* de los procesos con enfoque funcional (por talleres, en las empresas industriales), preparada para la producción de grandes lotes de producto. Los procesos de montaje, suelen efectuarse sobre implantaciones en cadena y así lo haremos.
- ▶ Desplazamientos de materiales en grandes *lotes* (de *transferencia*) con recorridos que pueden ser largos.
- ▶ *Maquinaria* y equipamiento de producción básicamente de propósito general y con capacidades elevadas, muy adecuados para las implantaciones de tipo funcional.
- ▶ *Lotes* de *producción* grandes, de acuerdo con la denominada «producción *en masa*», cuya planificación se ajustaría habitualmente a las previsiones de la demanda.
- ▶ Tendencia a maximizar la *productividad*, para cada estación de trabajo, independientemente. Ello conlleva un desequilibrio en la producción obtenida.
- ▶ *Stock* de materiales, componentes y productos en todas partes. El objetivo de maximizar la productividad lleva a cada una de las operaciones a producir al máximo, lo que se traduce en componentes y productos que se almacenan; además, cada puesto de trabajo dispone de material en abundancia para efectuar la producción, a fin de garantizar que ésta no va a detenerse por falta de material.
- ▶ *Trabajadores* altamente especializados en determinados tipos de operaciones, en las que tienen una gran experiencia.
- ▶ *Calidad* obtenida por medio de la inspección del producto acabado, una vez ha finalizado el proceso, por lo que de detectarse fallos, éstos darán lugar a productos a desechar o reprocesar.
- ▶ *Mantenimiento* de las máquinas y equipos productivos, basado en la reparación de sus disfunciones y averías de manera que, cuando se producen, la máquina deja de ser operativa hasta que pueda restablecerse su capacidad de producción.
- ▶ No existe previsión de cambios en la gestión o su orientación, lo que hace al sistema muy *inflexible*. El sistema productivo opera siempre al máximo ritmo posible, en todos y cada uno de los puestos de trabajo y sus equipos productivos.
- ▶ Debido a esta misma inflexibilidad, los  *aumentos* en el *volumen* de producción se llevan a cabo operando más tiempo (horas extraordinarias). Las *reducciones* exigirán, por tanto, reducir el tiempo de operación sobre un lote dado o acumular más stock.

La figura 3 muestra la propuesta para implantación física de la planta de ensamblaje de vídeos, de acuerdo con lo expuesto. Es decir, proponemos una implantación funcional para los procesos de fabricación y premontajes y una de tipo cadena (recta) para el montaje del producto final.

A continuación, abordaremos la etapa segunda de la metodología, por lo que procederemos a identificar los valores de las magnitudes relevantes del sistema productivo, estableciendo,

según se ha expuesto ya, el de aquellas que puedan fijarse libremente y determinando el valor de las magnitudes «resultado» de la implantación.

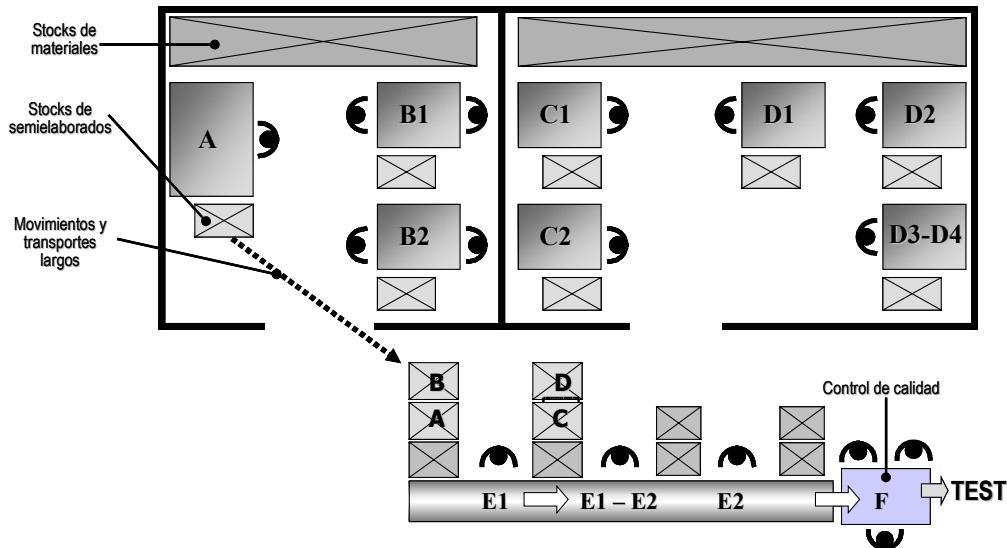


Figura 3: Propuesta de planta para el enfoque convencional

Todo ello se ha llevado a cabo en el cuadro de la figura 4, realizado sobre una hoja de cálculo, en la que se han introducido las magnitudes que pueden fijarse libremente y se calcula el valor de las de tipo resultado. En las filas de la citada hoja de cálculo, bajo la columna «operaciones puesto», se han introducido las operaciones a llevar a cabo en cada estación de trabajo que, al tener que ajustarse a puestos especializados (propios de la gestión convencional), sus posibilidades son limitadas.

**Lote de proceso: 400** Uds. producto      **Duración jornada: 7,2** horas  
**Producción diaria planificada: 400** Uds. producto      **1** lotes diarios

Puestos fijos (especialistas)	Operaciones puesto	Tiempo proceso (seg.)	Tiempo perd. rechazos y averías (%)	Tiempo proceso real (seg.)	Lote transf. (Uds.)	Transporte a proc. sig. (seg./lote)	Tiempo lote transferencia ciclo eqv. (seg.)	Tiempo Ud. (seg.)	Duración jornada (real horas)	Tiempo preparación lotes proceso (seg.)	Producción real diaria	Capacidad para plan producción	Stock máx. (*) por desequil. producción	Lead time total lote proceso (seg.)	
1 : 1	A(1-3)	42	8,0%	46	50	120	2.420	48	7,2	2.700	2.700	484	Muy elev.	84	22.060
2 : 2 y 3	B1(4-12)	102	5,5%	108	50	25	5.425	54	7,2	4.200	4.200	402			Proceso B:
2 : 4 y 5	B2(13-18)	118	6,0%	126	50	120	6.420	64	7,2	(Proc.B) 4.200	339	Deficitaria	0	35.305	
1 : 6	C1(19-21)	33	12,0%	38	50	20	1.920	38	7,2	3.000	3.000	603	Muy elev.	203	Proceso C:
1 : 7	C2(22-27)	73	4,0%	76	50	100	3.900	78	9,5 <sup>Por horas extras</sup>	(Proc.C) 3.000	400		0	36.120	
1 : 8	D1(28-32)	60	4,5%	63	25	15	1.590	64	7,2	1.500	1.500	382	Deficitaria	0	Proceso D:
1 : 9	D2(33-35)	52	6,0%	55	25	15	1.390	56	7,2	(Proc.D) 1.500	436		36	29.070	
1 : 10	D3-D4(36)	25	5,5%	26	25	90	740	30	4 <sup>Va a 36-39 de otro mgd.</sup>	1.500	430		30		
1 : 11	E1(41-43)	47	4,0%	49	1	5	54	54	7,2	2.100	2.100	441		41	Proceso E:
1 : 12	E1-E2(44-46)	41	4,5%	43	1	5	48	48	7,2	(Proc.E) 2.100	496	Muy elev.	96	23.801	
1 : 13	E2(47-50)	47	3,0%	48	1	5	53	53	7,2	2.100	449		49		
3 : 14,15,16	F (51)	180	1,0%	182	1	5	187	62	7,2	300	300	413		13	25.233
<b>Nº Puestos:</b>	<b>Tiempo proc. Ud.:</b>	<b>Media:</b>	<b>T. p. Ud.:</b>	<b>Máx:</b>	<b>Total:</b>	<b>Ciclo final (máx.):</b>	<b>Aumento:</b>	<b>Total preparación:</b>	<b>Real (min):</b>	<b>Puest. def.:</b>	<b>Stock total (heterogéneo)</b>				
<b>16</b>	<b>820</b>	<b>5,3%</b>	<b>860</b>	<b>50</b>	<b>525</b>	<b>78</b>	<b>-0,8%</b>	<b>13.800</b>	<b>339</b>	<b>2</b>	<b>555</b>				

(\*) STOCK MAXIMO en proceso: Con planificación MRP, no se superará el lote, pero la tendencia a producir al máximo, generará stock de éste u otro producto.

Figura 4: Agrupaciones por puestos de trabajo y determinación de las magnitudes del sistema productivo

Por otra parte, en las columnas de dicha hoja de cálculo se introducen, para cada estación de trabajo, las magnitudes fijadas libremente y se evalúan las que suponen resultados. Todas ellas serán sometidas al posterior análisis comparativo.

Las magnitudes de la citada figura 4, permiten llevar a cabo, puesto a puesto, la asignación del número óptimo de personas y máquinas de cada uno de ellos, el cálculo del tiempo de proceso de cada uno (incluyendo las pérdidas por rechazos y paros), la asignación del lote de transferencia adecuado y la determinación el tiempo de ciclo por unidad de producto. Asimismo, permite establecer la duración óptima de la jornada, el tiempo de preparación para cada lote de producción y, con todo ello, determinar la producción real diaria, con un diagnóstico acerca del nivel correspondiente. Asimismo, la tabla muestra el stock generado por el desequilibrado, al que habrá que añadir el correspondiente al tamaño del lote de transferencia. Finalmente, se determina el *lead time* de cada proceso de la planta. El lector que desee conocer cómo se determinan las magnitudes que se calculan en esta tabla, puede acudir a la bibliografía especializada del autor de este trabajo, en especial el libro *Gestión competitiva de stocks y procesos de producción* [2].

#### **4. Diseño e implantación de un sistema *lean production*.**

La implantación, bajo en enfoque innovador *lean production*, se llevará a cabo de acuerdo con las siguientes pautas, por lo que se refiere a las características de la implantación física, de la etapa primera de la metodología [3][4]:

##### *A: Layout:*

- 1: *Tipo de implantación:* invariablemente basada en el flujo lineal, ésta se dispondrá, siempre que sea factible, en *células flexibles*, de fabricación o de ensamblaje (adoptando forma de serpentin en éste último caso); de esta forma, se podrán eliminar la mayoría de los *desperdicios* y la inclusión de la flexibilidad será mucho más fácil y completa.
- 2: *Transporte de materiales:* cada célula procesará una familia de productos y el producto se transportará unidad a unidad dentro de la célula, con recorridos extremadamente cortos.
- 3: *Tipo de máquinas y equipamientos productivos:* los equipos genéricos y de alta capacidad, dejarán paso a equipos dedicados (en cada implantación celular), con su capacidad ajustada a la familia de productos a procesar.

##### *B: Operaciones:*

- 1: *Tamaño de los lotes:* cada célula procesará pequeños lotes y el producto avanzará unidad a unidad. Es fundamental para eliminar desperdicios, no solo en stock, sino también de otros tipos [5].
- 2: *Volumen de stock:* debe minimizarse o eliminar por completo [5]. Puede disponerse un stock de materiales en cada célula, gestionado por un sistema *kanban*; el stock de producto en proceso (WIP), se minimizará automáticamente debido al flujo dentro de la célula y al balanceo total que se dará, según veremos.

C: Personal:

- 1: Nivel de *formación*: se dispondrá de personal con formación polivalente que pueda cubrir varias operaciones de una o varias células, cuyos puestos serán de tipo multitarea. De este modo, el balanceo en cada célula podrá ser total (dada la polivalencia existente puede aplicarse el método *Nagare* para alcanzarlo), por lo que se eliminarán las esperas. Los tiempos de máquina no se incluirán en los de proceso de cada puesto, dado que operarán mientras los trabajadores realizan otras tareas; así, los tiempos de proceso se reducirán aún más.

D: Gestión de la *calidad* y *mantenimiento*:

- 1: *Gestión* de la *calidad*: el objetivo es asegurar la calidad en cada estación de trabajo, con una gestión de tipo preventivo. El *autocontrol* y los sistemas *poka-yoke* en cada una de ellas, pueden ser medidas adecuadas.
- 2: *Gestión* del *mantenimiento*: introducción del *mantenimiento autónomo* en las células; en él interviene el personal de operaciones, para tareas sencillas y para la previsión de problemas en las máquinas que opera. El resto, correrá a cargo de los especialistas en mantenimiento, con una gestión de tipo preventivo.

E: *Flexibilidad*:

- 1: Con la introducción de las células flexibles, los cambios podrán hacerse de forma natural, debido a su gran flexibilidad. Ésta es realmente importante, ya que los sistemas *lean* tratan de ajustar en todo momento la clase y cantidad de producto, a la demanda. La determinación del *takt time* (ciclo que debería cumplir cada estación de trabajo para ajustarse a la demanda), será pues determinante.

La figura 5, muestra la implantación que proponemos para el caso de la planta de ensamble de vídeos, basada en la operativa con células flexibles y un serpentin para el montaje final que, por lo demás, se ajustan a las pautas que acabamos de exponer [6].

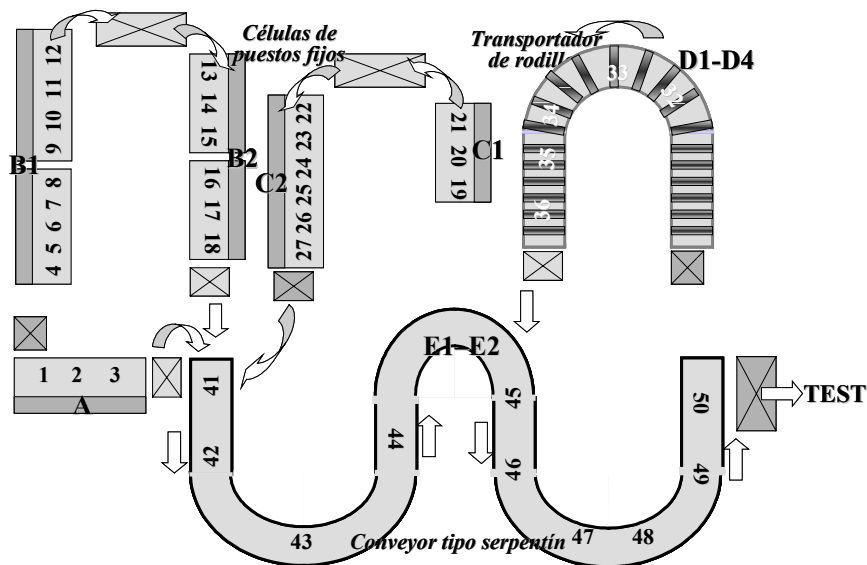


Figura 5: Planta para la producción *lean*

Debido a que en un entorno *lean*, la calidad asegurada es una exigencia irrenunciable [7], habrá que garantizar la calidad en cada puesto de trabajo, lo que a veces puede lograrse automáticamente (*autonomatización*) o por medio de sistemas *poka-yoke*. Así pues, tan solo será preciso un tiempo adicional para algunas operaciones, en las que debe efectuarse algún *autocontrol* que lo requiera. La tabla 1 muestra estos tiempos para aquellas operaciones que lo precisen.

CONTROLES DE CALIDAD EN PUESTOS Con autocontrol / control sucesivo		Tiempo a añadir a operación (seg.)
3	Comprobar inserción y conexión motor de carga	4
4	Comprobar fijación y conexión del motor del tambor	3
6	Comprobar colocación tensores, guía y brazo tensor	4
9	Comprobar colocación de poleas de presión y frenos	2
18	Comprobar ajustes del proceso B2	12
35	Comprobar botonera	4
42	Comprobar colocación Y fijación mecanismo de carga	3
43	Comprobar colocación y fijación del servomecanismo	5
51	Control de calidad final: puede prescindirse de él	0
Los tiempos de las operaciones no tabuladas son nulos (los métodos de control y los sistemas Poka-yoke, lo permiten)		<b>Total:</b> 37

Tabla 1: Tiempos adicionales para el aseguramiento de la calidad

Para abordar la etapa segunda, correspondiente a la determinación de las magnitudes del sistema productivo, procederemos ante todo a efectuar los cálculos previos para ajustar la capacidad a la demanda y equilibrar el flujo:

Tiempo disponible por día para operar (fijo para toda la planta):  $7,8 \text{ h.} = 28.080 \text{ seg.}$

Deduciendo el necesario para las preparaciones (proceso con mayor tiempo de preparación):  
 $28.080 - 600 \text{ (según se verá)} = 27.480 \text{ seg.}$

Volumen de producción diario a obtener:  $400 \text{ uds.}$

Con estos datos, podemos determinar el *Takt time*  $= 27.480 / 400 = 68 \text{ seg.}$

Tiempo total proceso por unidad de producto (incluyendo la incidencia del transporte, sobre cada unidad)  $= 731 \text{ seg.}$  (la hoja de cálculo lo corroborará, según se verá).

El número de puestos de trabajo, será así  $= 731 / 68 = 10,75 \gg \gg$  Tomaremos: 11

Ciclo máximo a ajustar cada puesto  $= 731 / 10,75 = 68 \text{ seg. (Takt time)}$

Debido al redondeo efectuado en el número de puestos de trabajo, podemos ajustar el ciclo de cada uno a un: Ciclo medio  $= 731 / 11 = 66 \text{ seg.}$

La figura 6 muestra la hoja de cálculo que permite introducir las magnitudes que optimicen el sistema y determinar las resultantes (al igual que en la implantación convencional). En ella, se han agrupado las tareas por puestos de trabajo, buscando un equilibrado total, lo que se manifiesta en la producción diaria obtenida en cada puesto, que se ajusta en todos ellos a 400 unidades, exactamente la que deberíamos lograr. La flexibilidad de la implantación celular, la polivalencia del personal y, desde luego, disponer del cálculo del *takt time*, lo han permitido.



Lote de proceso: 400      Duración jornada: 7,8 horas  
Producción diaria: 400      Uds. producto : 1      lotes diarios

Puestos fijos (especialistas)	Operaciones del puesto sin tpte.(seg)	Tiempo proc. Incluye calidad	Lote transf. a proc.sig.	Transporte seg.equiv./ud.	Tiempo lote transferencia ciclo	Tiempo ciclo eqv.	Duración jornada (real horas)	Tiempo preparación		Producción teórica	Producción real diaria	Stocks en proceso (lote ud. aparte)	Lead time total		
								lotes proceso (seg.)	Diario				por procesos (segundos)	Lote proceso	
1 : 1	4,18,TB	60	1	8	68	68	7,8	600	600	404	400	0	Proceso B:	Proceso B:	
1 : 2	5,6,7,17	66	1	0	66	66	7,8	(Proc. B)	600	416	400	0	521	27.981	
1 : 3	8,9,10,15,16	64	1	0	64	64	7,8		600	429	400	0	Proceso C:	Proceso C:	
1 : 4	11,12,13,14	51	1	0	51	51	7,8		600	539	400	0	353	28.800	
2 : 5y6	19a27TC-TE+5(**)	129	1	12	141	71	7,8	600 (C)	600	387	400	0	Proceso D:	Proceso D:	
2 : 7y8	28a36-5seg	136	1	0	136	68	7,8	300 (D)	600	404	400	0	340	27.800	
1 : 9	1a3TA41-42	76	1	2	78	78	7,8	600 (A/E)	600	352	400	0	Proceso A/E (*)	Proceso A/E (*)	
2 : 10y11	43a50TD	113	1	10	123	62	7,8	600 (A/E)	600	443	400	0	469	27.534	
Lote único transf. entre procesos:			5												
Nº Puestos:		T. Proceso ud:	Máx:	Total real:	Ciclo final (máx.):	Aumento:	Total preparación:	Real (min):	Puest. def.:	Stock total (heterogéneo):					
11		695	1	152	69	0%	2.100	404	400	0					

(\*) **Tiempos de los lotes:** Como los puestos 9, 10 y 11 se apoyan mutuamente, se toma como ciclo, la media resultante de ambos.

(\*\*) **TE:** incluida como operación (no en col. tptes.), se efectúa cada 5 lotes. Tiempo: 90 seg. más nuevo desplazamiento(60 seg): reperc. por ud.:(90+60)/(5x5). Total = 6 seg.

Figura 6: Agrupaciones por puestos de trabajo y determinación de las magnitudes del sistema productivo

Los puestos resultantes y el tipo a que se ajustan (tareas a cada uno o *Nagare*) dan como resultado una implantación física con las asignaciones que se observan en la figura 7.

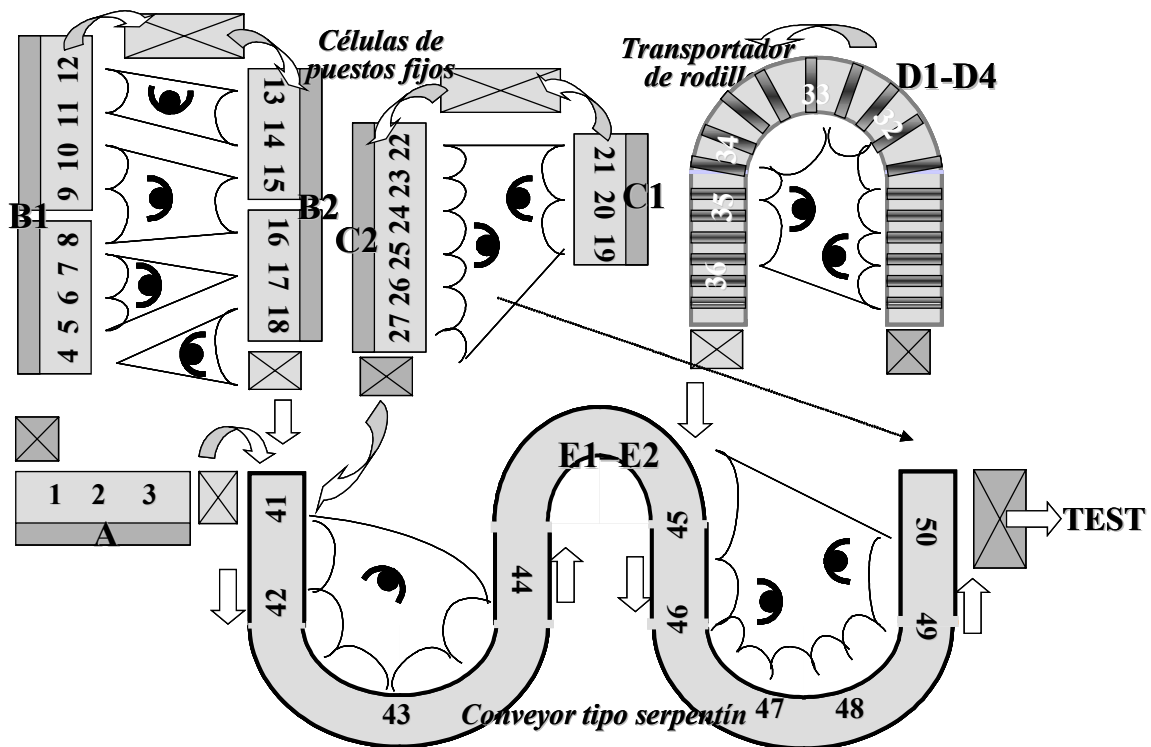


Figura 7: Implantación lean con puestos de trabajo asignados a cada célula

## 5. Análisis comparativo de los resultados obtenidos y conclusiones.

Procede ahora, comparar ambas implantaciones, analizando los valores de las magnitudes relevantes del sistema productivo, lo que, a su vez, permitirá concluir en qué aspectos mejora una implantación *lean* a una convencional y, por supuesto, en qué condiciones puede interesar un enfoque u otro. La tabla 2, muestra los resultados de esta comparación.

Magnitudes a comparar	Valores y comparación		
	<i>Masa</i>	<i>Lean - JIT</i>	<i>Diferencia</i>
<b>DESPERDICIOS (WASTE):</b>			
• Tamaño lote producción (no variado, para comparar)	400	400	0 [0%]
• Proceso adecuado: Tiempo total proceso	860	695	- 165 [19%]
• Stock: Producto en proceso	555	0 (aprox.)	- 555 [100%]
• Stock & esperas: - Tamaño medio lote transferencia	27,4	3	- 24,4 [89%]
- Desequilibrio máximo (seg. en ciclo)	40 (excl. D3)	17 (*)	- 23 [57%]
• Esperas: Preparaciones de procesos	13.800	2.100	-11.700 [85%]
• Transportes y movimientos (materiales y personas)	525	152	- 373 [71%]
• Calidad en producto y equipamiento: tiempo pedido	5,3%	0% (aprox.)	5,3% [100%]
<b>EFICIENCIA:</b>			
• Número de puestos de trabajo	16	11	- 5 [31%]
• Tiempo extra por jornada (horas) en puestos trabajo	2,3	0	- 2,3 [100%]
• Productividad por puesto y jornada (uds./ nº puestos)	21,2	36,3	+ 15,1 [71%]
• Total global <i>Lead time</i> de todos los procesos (horas)	47,6	31,1	- 16,5 [34%]
(*) Diferencia entre ciclo máximo, 68 (que se acaba cumpliendo aunque sea con apoyos entre puestos) y el mínimo real, 51.			

Tabla 2: Análisis comparativo de las magnitudes relevantes

La tabla expuesta permite, finalmente, establecer las conclusiones que, por lo que hace referencia a los *desperdicios*, son las siguientes:

- Mejora del 19% en el tiempo total del procesos
- Eliminación total del stock procedente de los desequilibrios y gran reducción (89%) del correspondiente al lote de transferencia, al operar con flujo unitario.
- El desequilibrio, muestra un valor no nulo, ya que no incluye el hecho de que los trabajadores se apoyan entre sí.
- Las esperas por preparaciones se han reducido en un 85%, fruto de la implantación de sistemas de preparación rápida, indispensables, por otra parte, para operar con lotes pequeños (lote cuyo tamaño aquí no se ha alterado, para facilitar la comparación).
- Transportes y movimientos, reducidos en un 71%
- La calidad ha sido implantada de forma que quede totalmente asegurada.

Por otra parte, los indicadores de *eficiencia*, muestran los siguientes valores:

- El número de puestos de trabajo se ha reducido en un 31% (¡para hacer lo mismo, más rápidamente y a menor coste!)
- La utilización de tiempo extra se ha eliminado por completo

- La productividad por puesto y jornada ha aumentado en un 71%
- El total de los *lead time* de los distintos procesos, se ha reducido en un 34%.

Junto a estos objetivos cuantificables, se han obtenido mejoras de tipo cualitativo, en absoluto desdeñables:

- Procesos implantados en flujo lineal, unidad a unidad e implementados, finalmente, en células flexibles.
- Personal con formación polivalente, que puede operar en distintos procesos y hacerse cargo de todas las operaciones de uno de ellos o llevarlo a cabo conjuntamente con otros trabajadores.
- Operaciones efectuadas de forma que mientras los equipos de producción trabajan, el operario no deberá esperar hasta que terminen, ya que podrán ocuparse de otras tareas.
- Eliminación de toda clase del desperdicio o *waste*.
- Flexibilidad total para adaptar la producción en productos y cantidades producidas a las necesidades de la demanda
- Integración de todas estas actuaciones a nivel de todos los procesos del sistema productivo, mejorando así la eficiencia del conjunto de todos ellos.

## Referencias

- [1] Womack, J., Jones, T., (1996) “Lean Thinking”, *Touchtone books*, pp. 9-24.
- [2] Cuatrecasas, L., (2003) “Gestión competitiva de stocks y procesos de producción”, *Editorial Gestión 2000*, pp. 32-47.
- [3] Cuatrecasas, L., (2000) “Diseño de procesos de producción flexible”, *Productivity Press*, – *TGP*, pp. 65-108
- [4] Suzaki, K., (1991) “The New Manufacturing Challenge”, *The Free Press*, pp.
- [5] Mahoney, R. M., (1997) “High-Mix Low-Volume Manufacturing”, *HP professional books*, Upper pp: 107-115; 177-184.
- [6] Sekine, K., (1992) “One piece flow”, *Productivity Press*, pp. 93-105
- [7] Merli, G., (1990) “Total Manufacturing Management”, *Coopers & Lybrand*, pp. 143-158