

Proyecto de Desarrollo de una Nueva Metodología para la Implantación por Etapas del Cambio a la Nueva Gestión «Lean Company»

Luis Cuatrecasas Arbós¹, Carolina Consolación Segura²

¹Ingeniero Industrial, Departamento de Organización de Empresas de Universidad Politécnica de Catalunya, lluis.cuatrecasas@upc.es

²Economista, Departamento de Organización de Empresas de Universidad Politécnica de Catalunya, carolina.consolacion@upc.es

RESUMEN

El siglo XXI se está caracterizando por la progresiva implantación de la gestión «lean», adecuada para los objetivos de la nueva competitividad: calidad, rapidez, costos no basados en economías de escala y flexibilidad. Las empresas que están adoptando esta gestión altamente competitiva, son denominadas «Lean Company». Este trabajo presenta una metodología para realizar el cambio desde la gestión tradicional a la gestión «lean», basada en la consideración integrada de los distintos aspectos de la gestión e implantando el cambio por etapas. Se utilizará un caso práctico para visualizar mejor este cambio. También se propondrá un sistema para evaluar las magnitudes clave de los procesos, que se utilizará para medir la progresión de los mismos para los distintos objetivos «lean» y se aplicará al caso práctico.

1. Introducción

La gestión «Lean», iniciada en el ámbito de la producción, ha supuesto una mejora espectacular de la eficiencia, rapidez en la respuesta y flexibilidad, en la ejecución de los procesos. Este enfoque de gestión, se centra en la erradicación del «desperdicio» o «despilfarro» contribuyendo así al importante incremento en la eficiencia de la producción.

La gestión «lean» permite obtener simultáneamente un **producto diversificado**, al **mínimo coste** posible, la máxima **rapidez en la respuesta**, un nivel **mínimo de stock** y mucha **flexibilidad**. La evolución desde la implantación tradicional a un sistema productivo «lean», cubriendo los distintos objetivos y alcanzando la máxima eficiencia y competitividad, puede llevarse a cabo por medio de la metodología por etapas propuesta en este trabajo. Ésta incluirá, además, un sistema de evaluación de las magnitudes clave para los objetivos propuestos.

2. Evolución por etapas a la implantación «lean». Cambios por aspectos de la gestión.

La tabla 1 muestra los aspectos clave de la gestión y su evolución en cuatro etapas, desde una gestión tradicional a una gestión «lean». Puede apreciarse que se parte de una producción en grandes lotes, con bajos costes por economías de escala, para terminar operando por lotes ajustados a la demanda y otra forma de minimizar costes, la eliminación de los desperdicios, junto a una fuerte dosis de flexibilidad, dado que la demanda puede fluctuar. *Desperdicios y flexibilidad* son pues, los elementos clave de la gestión «lean».

Características	INICIO	ETAPA 1	ETAPA 2	ETAPA 3	ETAPA 4
Lote de producción:	Muy grande por previsión	Grande. Prev.medio plazo	Bajo. Previsión corto plazo	Ajustado a la demanda	Introducir flexibilidad en volumen de producción y modelo de producto
Máq. y equipamientos:	Gran capacidad. Versátiles	Gran capacidad.Versátiles	Capacidad ajustada	Dedicados y capac. ajust.	
Distribución procesos:	Talleres	Flujo lineal	Flujo lineal	Células flexibles	
Operaciones y conexión:	Alejadas	Próximas o conectadas	Próximas físicamente	Muy próximas	
Lotes de transferencia:	Una caja de placas	Una sola placa	Una sola placa	Una sola placa	
Stock en proceso:	En todos los puestos	Reducido por mejoras	Muy reducido por mejoras	Mínimo y controlado	
Trabajadores:	Especialistas 1 operación	Esp. con varias operac.	Varias operac. (multitarea)	Polivalente y multitarea	
Equilibrado operaciones:	No se contempla	No se contempla	Equilibrado aproximado	Equilibrado total	
Calidad:	Por inspección+reproceso	Intro. Herram. de calidad	Asegurar calidad procesos	Control puesto+Poka-yoke	
Mantenimiento equipos:	Basado en reparaciones	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento correctivo	Mantenimiento autónomo	

Tabla 1. Características de cada etapa de cambio a la gestión «lean»

La tabla 1 muestra asimismo, que la distribución en planta de los equipos y personas deberá evolucionar desde la tradicional implantación funcional (talleres), a otra en flujo lineal, con el producto avanzando unidad a unidad, para finalizar en una implantación en células flexibles en U, que permiten asumir al máximo la eliminación de desperdicios y la flexibilidad. Los equipos productivos evolucionarán desde las clásicas máquinas versátiles de gran capacidad, propias de los talleres, a pequeños equipos dedicados pero flexibles. Asimismo será necesario que la formación del personal evolucione desde el tradicional operario altamente especializado al personal con formación polivalente (multiproceso).

La implantación en flujo lineal, facilitará la eliminación de desperdicios en transportes de materiales (que deberán efectuar recorridos mínimos entre operaciones) y de movimientos de personal, sobre todo en las células flexibles, donde pueden asignarse varias operaciones a un mismo trabajador, sin que apenas deba moverse.

Los lotes de transferencia podrán así evolucionar desde el clásico contenedor con muchas unidades de producto en cada operación, al flujo de éstas unidad a unidad o en lotes muy pequeños. Esto eliminará desperdicios en stock.

Además el equilibrado entre las tareas de cada puesto, que acabará por completarse en la etapa tercera, facilitará la eliminación del stock causado por la acumulación en puestos sobrecargados y los despilfarros en esperas que ello genera.

Finalmente, la calidad y el mantenimiento pasarán de ser gestionados a «posteriori» (control de calidad después de la producción y actuación en las máquinas cuando hay averías), a gestionarse con carácter preventivo, de forma que se eviten problemas y pérdidas de tiempo y, desde luego, despilfarros en estos aspectos de la gestión.

Vamos a proponer un sistema de medición de las magnitudes clave para cada una de las etapas y, a continuación, llevaremos a cabo el cambio, por etapas, para un caso de producción industrial, midiendo su eficiencia por medio del citado sistema de evaluación.

3. Evaluación de las magnitudes clave del sistema productivo.

Magnitudes iniciales del sistema:

- Lote de producción a obtener en el período planificado: Q
- Lote de transferencia entre operaciones: $q = Q / n$
- Con ello, el tamaño del lote de transferencia en unidades de producto, es: $n = Q / q$

Las expresiones de cálculo de las magnitudes clave, a partir de las anteriores nos dará:

3.1. Tiempo de ciclo y *lead time* del proceso.

Si el proceso se compone de N operaciones llevadas a cabo en N puestos:

- Tiempo de proceso de cada operación: t_K ($1 \leq K \leq N$)
 - Tiempo de *ciclo* (máximo valor de t_K): t_M
 - *Lead time* del proceso para el primer lote de transferencia: $LT_1 = \sum t_K$
(este lote no tiene esperas entre operaciones)
 - *Lead time* del proceso para el lote de producción completo: $LT = LT_1 + C_M \cdot (n-1)$
- A fin de evaluar el tiempo perdido en esperas, determinaremos:
- Tiempo transcurrido hasta la entrada del último lote de transferencia: $Tu = C_1 \cdot (n-1)$
 - *Lead time* del último lote de transferencia: $LT_N = LT - Tu = LT_1 + (C_M - C_1) \cdot (n-1)$
- Así pues, este último lote acumulará un retraso de: $\Delta LT = LT_N - LT_1 = (C_M - C_1) \cdot (n-1)$

3.2. Stock de componentes y productos en proceso.

$$SP/PQ = \frac{LT}{C_1} \text{ lotes de transferencia} = \frac{LT}{C_1} \cdot \frac{Q}{n} \text{ unidades de producto}$$

Dado que LT es inestable (según hemos referido, aumenta lote a lote desde LT_1 a LT_N), asignaremos el valor ya calculado del stock al primer lote de transferencia:

$$SP_1/PQ_1 = \frac{LT_1}{C_1} \cdot \frac{Q}{n}$$

El aumento de stock desde el momento LT_1 al T (para $T > LT_1$) vendrá dado por la diferencia entre las tasas de entrada y salida de materiales en el proceso, desde LT_1 hasta T:

$$\Delta SP/PQ = \frac{Q}{C_1 \cdot n} \cdot (T - LT_1) - \frac{Q}{C_M \cdot n} \cdot (T - LT_1)$$

$$\text{Así, el stock en el momento T será: } SP/PQ = SP_1/PQ_1 + \Delta SP/PQ = \frac{Q}{n} \left[\frac{LT_1 - T}{C_M} + \frac{T}{C_1} \right]$$

El máximo se dará cuando el último lote de transferencia haya entrado en el proceso, es decir en el momento: $T = C_1 \cdot n$. Con ello:

$$SP/PQ_{MAX} = Q \cdot \left[\frac{LT_1 - C_1 \cdot n}{C_M \cdot n} + 1 \right]$$

La expresión entre corchetes será pues la máxima fracción del lote de producción Q en el proceso; multiplicada por cien, será el máximo porcentaje del citado lote, en stock.

3.3. Productividad.

Dado que el tiempo de ciclo determina el ritmo de producción de lotes de transferencia:

$$\text{Productividad: } P = \frac{Q/n}{T_M} = \frac{Q}{n \cdot T_M} \text{ unidades de producto por unidad de tiempo}$$

Expresada para unidades de tiempo distintas de las empleadas en el ciclo:

$$P = K \cdot \frac{Q}{n \cdot T_M} \quad (K: \text{factor de conversión})$$

4. La implantación del cambio por etapas: un caso de producción industrial.

Ilustraremos la metodología por etapas propuesta, aplicándola a un caso de proceso industrial, partiendo de una implantación tradicional para evolucionar a la implantación «lean», evaluando las magnitudes claves y comparándolas para determinar la mejora.

El proceso en cuestión se basará en la fabricación de placas de circuitos impresos soldadas por doble baño de ola. La tabla 2, muestra las operaciones, sus tiempos, su agrupación por puestos de trabajo para la situación inicial y el tiempo de ciclo resultante por puesto, para cada uno de ellos. En total hay 9 puestos de trabajo, con ciclos bastante desiguales debidos, sobre todo, a la especialización de las tareas de cada puesto, con una implantación funcional (talleres) y lotes de transferencia de 50 placas de circuito.

Estos mismos puestos y sus especializaciones perdurarán en la etapa 1, ya que en ella el cambio de orientará a la producción en flujo lineal unidad a unidad, acercando físicamente las operaciones si es posible y, si no, conectándolas «virtualmente». Los nueve operarios seguirán especializados en las mismas tareas que en la situación inicial. En esta primera etapa no se introduce ningún cambio sustancial más, tan sólo se inicia el camino para gestionar la calidad y el mantenimiento de forma preventiva (véase nuevamente la tabla 1). Sin embargo con la implantación en flujo y el producto avanzando unidad a unidad y no por lotes de cincuenta unidades, habrá mejorado el stock en proceso. Los cálculos que haremos a continuación, lo demostrarán.

A partir de la etapa segunda, las asignaciones de trabajadores por tareas evolucionarán, puesto que se consolidará la producción en flujo lineal con puestos cercanos físicamente y la formación multitarea del personal, en la línea de la polivalencia. El equilibrado entre los puestos se hará mayor, aunque no total.

A medida que la implantación avance hacia las células flexibles y el personal adquiera una polivalencia total, lo que se consolidará en la etapa tercera, el equilibrado será total. La figura 1 muestra la configuración de las células flexibles en la implantación final.

En la etapa cuarta se introducirá la flexibilidad. Esto supone mantener todas las características de la implantación «lean» alcanzadas ya en la etapa tercera, pero organizando equipos de trabajo compuestos de un número variable de personas, de forma que su tiempo de ciclo sea también variable (y se alcance una producción asimismo variable), manteniendo, desde luego, el equilibrado total.

Ref.	Operación	Tiempo por placa Seg./persona	Puestos trabajo y número de trabajadores /p.	Tiempo de ciclo Seg./ puesto
1	Montaje de 24 conectores (insertar, cortar patillas y doblar)	120	1 puesto con	
2	Montaje de 5 integrados (circuitos previamente encapsulados)	80	3 trabajadores	67
3	Soldadura (poner placa en máquina, sacarla, enfriar y retirar)	20	1 puesto con 1 trabaj.	22+36=
4	Limpiar superficie de restos estaño (frecuencia 2 de cada 100 placas)	2	y hace también op.10	58
5	Montaje de 1 transformador	30	1 puesto con	
6	Soldadura del transformador (manual)	34	1 trabajador	64
7	Control calidad: presencia/colocación componentes (en 33% placas)	50	1 puesto con 1 trabaj.	50
8	Test funcional (por medio de programa informático)	140	1 puesto con 2 trabaj.	70
9	Retrabajo: reparación de problemas de calidad (en 30% placas)	60 (*)	1 puesto con 1 trabaj.	60
10	Embalado de placas con máquina	36	Se hace junto con las ops. 3 y 4	
(*) Valor medio, pues cada retrabajo puede tener distinta duración		Total: 572	Total: 9 trabajadores	

Tabla 2. Proceso de fabricación de circuitos impresos. Situación inicial

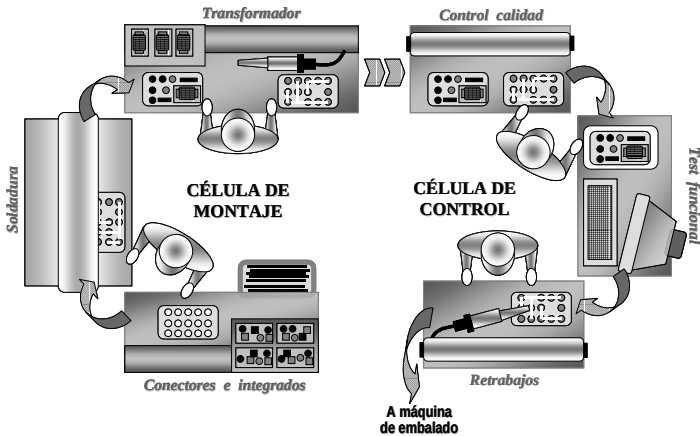


Figura 1. Células flexibles para la implantación final del proceso de fabricación de circuitos impresos

La tabla 3 muestra las asignaciones de tareas por puestos, para las etapas segunda a cuarta, las que implican asignaciones distintas de la inicial, ya contemplada en la tabla 2.

Tal como puede observarse en la tabla 3, las asignaciones en las etapas tercera y cuarta comportan un equilibrado total de los tiempos de ciclo de cada puesto (143 segundos en la tercera y dos variantes –para implantar la flexibilidad tal como mostraremos– en la cuarta, con 286 y 572 segundos, respectivamente). La polivalencia del personal, junto a la secuencia de operaciones sobre células, permite asignar un importante número de tareas a cada puesto de trabajo lo que, en efecto, se ha realizado en la tabla 3.

		ETAPA 2		ETAPA 3		ETAPA 4 (FLEXIBILIDAD)			
		Puestos trabajo y Nºtrab./p.	Tiempo de ciclo Seg./ puesto	Puestos trabajo y Nºtrab./p.	Tiempo de ciclo Seg./ puesto	Asignación A		Asignación B	
Ref.	Tiempo por placa Seg./persona					Puestos trabajo y Nºtrab./p.	Tiempo de ciclo Seg./ puesto	Puestos trabajo y Nºtrab./p.	Tiempo de ciclo Seg./ puesto
1	120	1 puesto	100	1 puesto con 2 trabajad.	143	1 puesto con 1 trabajad.	286	1 puesto con 1 trabajad.	572
2	80	con 2 trab							
3	20	1 puesto							
4	2	con 1							
5	30	trabajad.	86	trabajad.	143	trabajad.	286	1 puesto con 1 trabajad.	572
6	34								
7	50	1 puesto							
8	140	con 2 trab							
9	60	1 puesto	96	trabajad.	143	trabajad.	286		
10	36	con 1 trab							
Total: 572		Total: 6 trabajad.		Total: 4 trabajad.		Total: 2 trabajad.		Total: 1 trabajad.	

Tabla 3. Asignaciones de tareas por puestos, para las etapas segunda a cuarta.

La flexibilidad se materializa en base a la operativa con los dos tipos de equipos de trabajo que hemos citado y la posibilidad de que en cada uno haya varios trabajadores, en lugar de uno solo. Por ejemplo, en la figura 1, se distribuyen las tareas en dos células (se opera con la opción de dos equipos con un ciclo de 286 segundos cada uno) y se dispone de dos personas en cada célula (cuatro personas en total, según se aprecia en la figura).

La tabla 4 muestra hasta diez opciones para la introducción de la flexibilidad, basadas en operar con los dos tipos de equipos de trabajo ya referidos y un número entre uno y cinco operarios en cada equipo, resultando diez valores de la productividad, en placas terminadas por hora. La opción de la figura 1 correspondería a la operativa con el equipo A y dos personas por célula, lo que en la tabla 4 supone una productividad de 25,2 placas por hora.

5. Resultados obtenidos etapa a etapa: mejora en la eficiencia.

Hemos implementado un proceso productivo en base a células flexibles, un flujo lineal de materiales y una asignación de tareas basada en la polivalencia de su personal, además de otros aspectos complementarios (equipos productivos, tamaños de lotes, gestión de la calidad, gestión del mantenimiento). Ello permitirá obtener un nivel muy elevado de eficiencia y competitividad basadas, sobre todo, en la eliminación de los despilfarros y la introducción de un nivel elevado de flexibilidad.

FLEXIBILIDAD (ETAPA 4)

PRODUCTIVIDAD (Placas / hora)

Para las asignaciones:

Multiplicando el Nº de trabajadores por:	A (2 puestos)	B (1 puesto)
1	12,6	6,3
2	25,2	12,6
3	37,8	18,9
4	50,3	25,2
5	62,9	31,5

Tabla 4. Posibilidades de operación para la flexibilidad y sus productividades

Valoraremos ahora la mejora que supone la nueva implantación, en relación a la inicial, para las magnitudes clave del sistema productivo. Para ello se utilizarán, en la medida de lo necesario, las expresiones de cálculo propuestas en este trabajo. La tabla 5 recoge estos cálculos, que muestran las mejoras obtenidas para las distintas magnitudes, las cuales valoraremos en las conclusiones.

Lote producción = 1.000 placas ■ Tiempo preparación lote producción = 1.080 seg.

Características	INICIO	ETAPA 1	ETAPA 2	ETAPA 3
Nº de puestos de trabajo:	9	9	6	4
Lote de transferencia:	Caja de 50 placas	1 placa	1 placa	1 placa
Tiempo ciclo lote transf.:	3.500 seg.	70 seg.	100 seg.	143 seg.
Tiempo lote producción:	96.180 seg.=26,7 h.	71.582 seg.=19,8 h.	101.552 seg.=28,2 h.	144.509 seg.= 40,1 h.
Stock máximo en proceso:	451 (material placas)	51 (material placas)	6 (material placas)	4 (material placas)
Productividad (placas/h.):	51	51	36	25
Eficiencia (productiv./trab.):	5,66	5,66	6,00	6,25

Tabla 5. Evaluación de las magnitudes clave del sistema para las cuatro etapas del cambio

6. Conclusiones

El cambio operado en la implantación y operativa del proceso, muestra cómo todas las magnitudes han mejorado de forma inequívoca, ya que con un **número de puestos** de trabajo que se ha **reducido a menos de la mitad** (de 9 a 4), hemos obtenido:

- ✓ **Tiempo de proceso completo** del lote de producción: reducido en primera instancia de 26,7 a 19,8 horas. Luego aumenta a 40,1 horas (un 50% de incremento en relación al tiempo inicial), pero con menos de la mitad de trabajadores.
- ✓ **Stock en proceso**: su reducción es espectacular, ya que pasa de 451 componentes en proceso, a tan solo 4.
- ✓ **Productividad por trabajador**: aumenta de 5,66 a 6,25.
- ✓ **Eliminación de desperdicios**, lo que implica una importante **mejora de costes**, por:
 - Flujo que permite operar unidad a unidad en lugar de hacerlo en lotes de 50 unidades, con las consiguientes eliminaciones de desperdicios en **stock y esperas** de materiales.
 - **Stocks y esperas** se han reducido también por el equilibrado total del sistema.

- Eliminación de desperdicios en **transportes** por la implantación en flujo con operaciones muy cercanas.
 - Eliminación de **movimiento** de personal, por su disposición en las células.
 - Eliminación de problemas de **calidad y mantenimiento**, por la nueva gestión preventiva.
- ✓ Introducción de un nivel elevado de **flexibilidad**, que permite acoplar el ritmo de producción al de la demanda, sin perder ni un ápice de cualquiera de las ganancias anteriores.

En resumen, hemos propuesto una implantación por etapas, de un sistema de gestión de procesos altamente eficiente y competitivo, proponiendo asimismo, cómo medir esta eficiencia. Esta propuesta se ajusta a la gestión «*lean*», la nueva forma de gestionar los procesos de la empresa del siglo XXI, en la que la obsesión por la productividad, propia de los sistemas tradicionales del siglo XX, ha evolucionado hacia nuevos objetivos, tales como la rapidez, la calidad, la flexibilidad y la minimización del coste más allá de las economías de escala.

Referencias

- [1] Askin, R.G., Goldberg, J.B., (2001) “Design and analysis of Lean Production Systems”, *John Wiley&Sons, Inc.*
- [2] Cuatrecasas, L., (2000) “Diseño de procesos de producción flexible”, *TGP-Hoshin*.
- [3] Cuatrecasas, L., (2000) “Organización de la producción y dirección de operaciones”, *C.E.R.Areces*.
- [4] Hirano, H., (2001) “Manual para la implantación del J.I.T.”, *Productivity Press*.
- [5] Sekine, K., (1992) “One piece flow”, *Productivity Press*.
- [6] Suzaki, K., (1991) “The new manufacturing challenge”, *The free press*.
- [7] Womack, P., Jones, D., (1998) “Lean Thinking”, *Touchtone books*.