

Propuesta de innovación docente para la materia Dirección de Producción y Operaciones en los programas de Ingeniería

Innovative proposal for teaching Production and Operations Management in Engineering programs

Javier Santos¹, Martín Tanco², Ander Errasti¹, Mikel Arcelus¹

Recibido: Mayo 2011

Aceptado: Agosto 2011

Resumen: La materia Dirección de Producción y Operaciones está presente en todos los planes de estudio de Ingeniería. Las reformas en los planes docentes de los distintos países han ampliado la oferta de asignaturas enmarcadas en esta disciplina, que deben coordinar y repartir sus contenidos. Por otro lado, las empresas necesitan ingenieros formados en técnicas de mejora sistemática de procesos y con un enfoque práctico de resolución de problemas centrado en la eliminación sistemática de despilfarros. En este artículo se presenta una propuesta docente centrada en la explicación de herramientas de Lean Manufacturing, e incluye modos de evaluación cuantitativa de su contenido, lo que permite que los alumnos adquieran, de forma práctica, competencias y habilidades específicas de la Dirección de Producción y Operaciones.

Palabras claves: Innovación educativa, POM, Lean Manufacturing, TPM

Summary.-*The Production and Operations Management topic is a part of all engineering curricula. Reforms in the teaching plans of various countries have extended the range of subjects framed in this discipline, which must coordinate and split the content. On the other hand, companies require engineers trained in systematic processes improvement methodologies and also in a practical approach to problem solving focused on the systematic elimination of waste. This paper presents a teaching proposal focused on the explanation of Lean Manufacturing tools, including quantitative evaluation methods, allowing students to acquire, in a practical way, specific abilities and skills in Production and Operations Management.*

Keywords: Educational Innovation, POM, Lean Manufacturing

1. Introducción.- La Dirección de Producción y Operaciones (POM – Production and Operation Management) es una disciplina que se ocupa del diseño, operación y mejora de los sistemas productivos. Tiene responsabilidades claras de gerencia y es una de las actividades clave de cualquier organización tanto industrial como del sector servicios [1].

La historia de la Dirección de la Producción y Operaciones es reciente y se ha enriquecido gracias a las innovaciones de disciplinas como la dirección de empresas o la investigación

¹ Doctor del Departamento de Organización Industrial de TECNUN – (University of Navarra) - P^o Manuel Lardizábal, 13. 2018 Donostia-San Sebastián.

² Doctor de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Montevideo (UM) - Prudencio de Pena 2440. Montevideo, Uruguay

operativa. Desde una perspectiva histórica, el origen de POM se remonta al inicio de la primera revolución industrial. Desde entonces se han ido añadiendo conceptos, metodologías de mejora y aproximaciones teóricas para dar respuesta a los retos originados en los sistemas productivos.

La revolución industrial, surgida a raíz de la invención de la máquina de vapor en 1764, transformó el sistema productivo, centrado hasta ese momento en la fuerza humana, en un sistema productivo basado en máquinas. Esta transformación propició que, poco tiempo después, Adam Smith estableciera la división del trabajo y, como consecuencia, se favoreciera la especialización de las tareas y la aparición de nuevas profesiones relacionadas con el control y la mejora del trabajo. Finalmente, enmarcado en estos primeros hitos de POM, en 1790, Whitney desarrolló el principio de las piezas intercambiables, que permitiría reducir costos de producción al aprovechar los mismos componentes en distintos productos finales.

Sin embargo, no se produjo un auténtico avance en la Dirección de Producción y Operaciones hasta cien años después de la invención de James Watt. Taylor, considerado el padre de la administración científica, sentó las bases de esta disciplina, al estudiar de manera científica los problemas de tiempos de producción en una fábrica [2].

Taylor también popularizó el concepto de eficiencia, que años más tarde redefiniría el japonés Nakajima [3]. En 1893, Taylor creó una empresa de consultoría especializada en mejorar la producción de las empresas. Los analistas de esta empresa fueron conocidos primero como expertos en eficiencia y finalmente como ingenieros industriales.

Contemporáneos de Taylor son el matrimonio Gilbreth, Gantt, o Henry Ford, quien incorporó a su fábrica del modelo T muchas de las innovaciones y aportaciones surgidas hasta ese momento en la Dirección de Producción y Operaciones [4]. Posteriormente se incluyó, en el análisis de la producción, el estudio de factores humanos (psicológicos y sociológicos), rechazando determinadas prácticas que buscaban aumentar la productividad en detrimento de las condiciones laborales de los operarios.

Paralelamente, en las fuerzas armadas se originó una nueva disciplina, la investigación operativa, que recogía las técnicas matemáticas de cálculo empleadas por los técnicos militares. Cuando estos técnicos volvieron a las universidades, desarrollaron y difundieron sus investigaciones en el ámbito académico, y la dirección de la producción incorporó parte de estos avances, al aplicar las técnicas desarrolladas en el ámbito industrial.

En los años 50, la evolución de POM se centró en los avances tecnológicos. El ejemplo más claro fue el desarrollo de sencillos algoritmos de cálculo, como el MRP (Material Requirement Planning), que colaboraron a simplificar la dirección de producción, al ser posible manejar cantidades importantes de información de forma fácil [5]. La evolución de los sistemas de gestión de información ha sido exponencial desde ese momento hasta los actuales ERP (Enterprise Resource Planning).

En esos mismos años, en Japón se estaba desarrollando una nueva filosofía de gestión de la producción: El Just-in-Time (JIT) o método de producción de Toyota. Son muchos los nombres de ingenieros y consultores asiáticos (Shingo [6], Monden [7], Nakajima [3], Kobayashi [8], Hirano [9]) que aportaron metodologías y enfoques en el área de la mejora de la producción de las empresas de fabricación. Tiempo después el sistema de producción de Toyota se estableció en occidente bajo el nombre de Lean Manufacturing creando un nuevo enfoque de gestión, denominado Lean Thinking [10]. Esta filosofía busca la eliminación sistemática de todo tipo de despilfarros en las empresas de producción y servicios mediante la mejora continua sustentada en la colaboración de los operarios. Se entiende despilfarro como todo aquello que no agrega valor al producto o al cliente.

Desde entonces la Dirección de Producción y Operaciones no ha dejado de incorporar nuevas herramientas y filosofías que puedan conducir a la mejora de la eficiencia del área productiva, como puede ser la gestión de la calidad total (TQM-Total Quality Management), la metodología seis sigma y su relación con el Lean Manufacturing, la Teoría de las Limitaciones de Goldratt

[11] o, más recientemente, la problemática de la internacionalización de operaciones o la globalización de la cadena de suministro (SCM – Supply Chain Management).

2.

3. La dirección de Operaciones en la Ingeniería.- La mayoría de las técnicas desarrolladas en POM van dirigidas a mejorar la productividad, es decir, a aumentar la relación entre los recursos empleados y los bienes o servicios recibidos por el cliente. Obviamente, este cociente puede mejorarse de dos formas: empleando menos recursos para conseguir los mismos bienes; o aumentando los bienes con los mismos recursos.

Como consecuencia, un director de operaciones debe adquirir los conocimientos y competencias para realizar las siguientes tareas: Planificar, organizar, dirigir, coordinar, controlar y mejorar los recursos productivos y gestionar los equipos humanos. Además, debe ser capaz de realizar estas tareas en los tres niveles de decisión que pueden tener lugar en la empresa (estratégico, táctico y operativo).

La formación universitaria, concretamente la relacionada con la ingeniería Industrial, debería propiciar al futuro graduado estos conocimientos y competencias, pero repartidos en la formación de grado y de máster.

Tradicionalmente, las publicaciones docentes referentes a esta disciplina han mantenido un esquema clásico [12-13]:

- Decisiones estratégicas: Herramientas para la toma de decisiones, calidad total, previsiones, estrategia de producto, estrategia de procesos y planificación de la capacidad, estrategia de localización, distribución en planta y diseño de células de fabricación, estrategia de recursos humanos y medición del trabajo.
- Decisiones tácticas: Gestión de compras y Just-in-Time, gestión de inventarios, MRP, planificación agregada, programación a corto plazo, planificación y gestión de proyectos, mantenimiento y fiabilidad.

Este esquema clásico suele plasmarse en un temario para la asignatura que cubre la materia Dirección de operaciones y es el que más se repite en las universidades:

- Selección de productos.
- Selección de procesos y tecnologías.
- Localización y análisis de capacidad.
- Distribución en planta.
- Gestión de inventarios y MRP.
- Just-in-Time (JIT).
- Mejora de la productividad.
- Teoría de las limitaciones (TOC).
- Gestión de calidad y Calidad Total.
- Mantenimiento industrial.
- Planificación agregada de la producción y previsiones.
- Planificación y control de la producción.
- Gestión de Proyectos (PERT).
- Organización del trabajo y Factor Humano.

Actualmente, las universidades se ven obligadas a adaptar y repartir este programa entre varias asignaturas debido a la diversificación de asignaturas relacionadas con el área de conocimiento de Dirección de operaciones derivada a las distintas reformas de los planes de estudio que han

sufrido sus títulos universitarios, incluyendo la nueva reforma educativa impulsada en Europa desde Bolonia [14].

Como consecuencia de estas reformas, se produce un reparto de los temas que se plasma en los siguientes ejemplos:

La ‘selección de procesos y tecnologías’ se separa del contenido de Dirección de Operaciones en la asignatura Tecnologías de Fabricación. Por otro lado, también se analizan de forma independiente y más detallada los temas de ‘gestión de la calidad’ y el ‘factor humano’, el ‘mantenimiento industrial, el ‘desarrollo de productos’ o la ‘innovación’ y, por último, la ‘gestión de proyectos’.

Además, algunos temas ya se explican tradicionalmente en otras asignaturas:

- Administración de empresas incluye la ‘gestión de compras’, la ‘estrategia de producto y de proceso’, las ‘estrategias de localización’ o las ‘herramientas para la toma de decisiones’.
- Investigación Operativa incluye los temas de ‘gestión de inventarios’.
- Estadística Industrial explica ‘fiabilidad’.
- Asignaturas como Sistemas de Gestión de la Información, Modelización y Simulación y Sistemas de Información Empresarial, se centran en el área de sistemas de información, y en la aplicación de herramientas de simulación a la empresa en general y al área productiva en particular.

Finalmente, los programas máster destinados a la formación de profesionales en el ámbito de la gestión industrial deben asumir los temas más globales, como la gestión de la cadena de suministro o la globalización.

Como consecuencia la materia impartida en la formación de grado relativa a la Dirección de Operaciones se concentra, académicamente, en tres aspectos fundamentales (Gestión de Producción, Logística y Planificación de la Producción) que tradicionalmente se concreta en tres asignaturas con los mismos nombres.

Los objetivos de las tres asignaturas son:

- Asimilar los términos relacionados con la dirección de operaciones.
- Poder analizar problemas relacionados con la producción, buscar las causas y las posibles soluciones.
- Identificar los problemas que se presentan en la logística interna y externa de una organización.
- Aplicar las técnicas y herramientas para conseguir el diseño y el buen funcionamiento de la logística de una empresa.
- Conocer los distintos tipos de planificación de la producción en base a la tipología de la empresa, identificando las restricciones que afectan a las secuencias de producción y saber cómo eliminarlas.

La asignatura Planificación de la Producción se centra en la planificación, programación y control de sistemas productivos, incidiendo en las técnicas de previsión de demanda, planificación agregada, planificación maestra y programación de la producción y el aprovisionamiento.

La asignatura Logística analiza el diseño de redes de suministro y distribución de materiales, desde la localización óptima de los almacenes, el diseño de rutas de transporte, la subcontratación de las tareas logísticas y el diseño físico y operativo de almacenes.

Por lo tanto, la asignatura Gestión de Producción puede centrarse en aspectos como el mantenimiento, la distribución en planta, el diseño de células de fabricación y las herramientas de mejora.

La propuesta docente presentada en este artículo propone que este temario se presente bajo el prisma del Lean Manufacturing, como se detallará a continuación.

4. La asignatura Gestión de Producción.- El objetivo principal de esta asignatura es dar a conocer al alumno las distintas filosofías de mejora existentes en el área de producción de una empresa y proporcionarle un conjunto de herramientas destinadas a mejorar los procesos de producción, desde el punto de vista de su gestión.

Se trata de una asignatura básica en la formación de los ingenieros de cualquier especialidad que tenga relación con el ámbito empresarial. La asignatura puede plantearse en la primera parte de la carrera, una vez explicados los principios de la economía y la administración de empresas. Por lo tanto, se puede impartir, por ejemplo, en el cuarto semestre. Por otro lado, la asignatura no tiene correquisitos, aunque podría impartirse en paralelo con Investigación Operativa, Estadística Industrial o Logística.

Los objetivos concretos que pretenden alcanzarse son:

- Manejar adecuadamente términos relacionados con la producción y el mantenimiento industrial.
- Conocer distintos procesos industriales que se emplean en la fabricación de productos cotidianos.
- Dominar el concepto de eficiencia de un equipo industrial.
- Identificar el problema que afecta a la eficiencia del equipo y emplear las herramientas que ayuden a eliminar el problema.

Por otro lado, la asignatura también pretende alcanzar objetivos de competencias y habilidades que el alumno debe desarrollar, concretamente:

- Desarrollar la capacidad de análisis en profundidad de los problemas relacionados con la producción.
- Utilizar de modo adecuado las diversas herramientas de mejora explicadas.
- Desarrollar el espíritu crítico al enfrentarse a las causas de los problemas relacionados con la gestión de la producción.

Se considera que la filosofía Lean Manufacturing aglutina todos estos objetivos y permite al alumno desarrollar las competencias y habilidades descritas.

3.1 Justificación del programa.- Existen problemas (como pérdidas de calidad, costos altos y retrasos en los plazos de entrega) que son síntomas de una mala gestión de la producción. Algunos problemas que pueden citarse son: materiales defectuosos, métodos de trabajo obsoletos, despilfarros de energía, operarios poco entrenados, bajas tasas de rendimiento en máquinas y materiales, etc.

El programa que se presenta se basa en la certeza de que los gestores e ingenieros trabajando en el área de producción necesitarán del entendimiento y aplicación de las técnicas Lean Manufacturing en su trabajo diario.

Concretamente la asignatura presenta metodologías y herramientas destinadas a mejorar los siguientes aspectos de la producción:

- Flujo de materiales. Facilitar el movimiento de productos por la fábrica.
- Eficiencia de un equipo. Mejorar la disponibilidad, la eficiencia y la calidad de un equipo industrial.

- Entorno de trabajo. Diseñar y mejorar el espacio de trabajo de los operarios de producción.

Para definir el programa docente no se han inventado nuevas metodologías, sino que se han ordenado las ya existentes, definiendo el marco conceptual y de aplicación de cada una de ellas. Su marco conceptual está basado en tres pilares básicos:

- El indicador de la eficiencia de un equipo desarrollado por Seiichi Nakajima [3].
 - El esquema del Just-in-Time publicado por Hiroyuki Hirano [9].
 - La propuesta de mejora a través de 20 claves propuesto por Iwao Kobayashi [8].
- El temario se ha separado en 9 temas generales [15]:
- El primer tema presenta las principales filosofías de mejora empleadas en las empresas y que dan lugar a las metodologías y herramientas que se analizan en detalle en los otros 8 capítulos. Así, se conocerá el marco en el que fueron creadas y los objetivos que persiguen (Tema 1).
 - El flujo de materiales se analiza en dos temas. El primero (Tema 2) relativo al problema de distribución en planta (layout); el segundo tema analiza en profundidad el diseño de células de fabricación (Tema 3).
 - La eficiencia del equipo se estudia y mejora mediante técnicas como los métodos Poka-Yoke (Tema 4), el estudio de métodos (Tema 5), la gestión del mantenimiento (Tema 6) y el SMED (Tema 7). Cada una de estas técnicas se explica en un tema independiente.
 - La mejora del entorno de trabajo se aborda en un tema dedicado a las 5S (Tema 8).
 - El último tema (Tema 9) presenta otras herramientas que también se incluyen en los esquemas del Just-In-Time y las 20 claves para mejorar la producción.

5. Evaluación cuantitativa de la asignatura propuesta.- Tradicionalmente la parte dedicada a la filosofía Lean Manufacturing en el “temario clásico” es evaluada de forma teórica. Por tanto, una asignatura centrada sólo en esta filosofía podría considerarse descriptiva. Sin embargo, se comprobará a continuación que es posible proponer y resolver problemas numéricos en todos los temas presentados.

4.1 Tema 1. Problemas sobre la Eficiencia de Equipo.- La herramienta clave que permite plantear problemas numéricos en varios capítulos aparentemente teóricos se basa en el indicador de eficiencia global de un equipo (Figura I), conocido como OEE - Overall Equipment Efficiency.

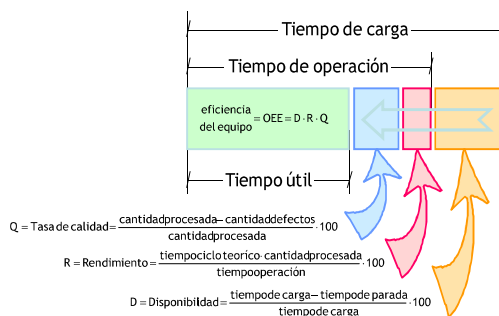


Figura I. Indicador de eficiencia global de un equipo [15].

La principal consecuencia de la implantación de los indicadores establecidos por Nakajima es que se pueden comprobar cómo las mejoras llevadas a cabo en la instalación afectan directamente a la eficiencia del equipo (Figura III).

En la figura se observa cómo, por ejemplo, partiendo de una misma situación inicial, una mejora en el mantenimiento del equipo podría producir tres tipos de situaciones (Figura II): Una mejora transitoria, una mejora permanente, o una mejora permanente pero con empeoramiento del valor del ratio OEE [15].

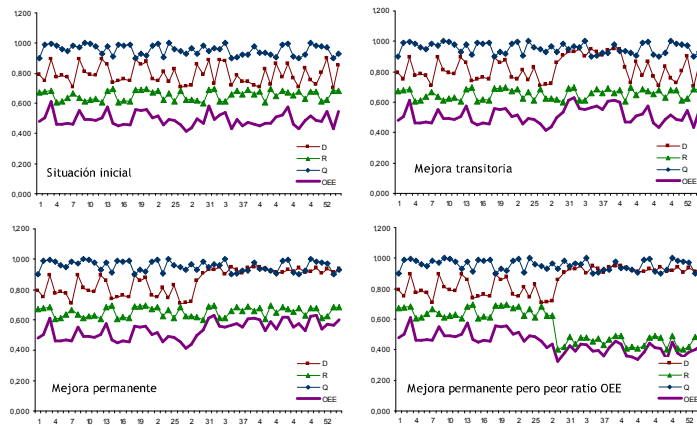


Figura II. Efectos de las mejoras en el OEE.

Por lo tanto, los indicadores permiten estudiar cuantitativamente cómo reacciona el equipo ante ciertas medidas o proyectos que pueden producir mejoras en uno de los indicadores, pero afectar negativamente al indicador global.

De esta forma el alumno puede comparar dos situaciones, normalmente mediante el cálculo de los indicadores antes y después de la mejora, y razonar si el proyecto ha merecido la pena o no. Además se puede acompañar de una pregunta teórica sobre la herramienta empleada (Figura III).

Una línea de fabricación de leds para iluminación de interiores ofrece los siguientes datos correspondientes a 10 meses (160 horas/mes). La producción teórica es de 1000 m/mes. El costo de avería es de 30 €/h, el de cambio 60 €/h, el de producción 3 €/m y el precio de venta es de 10 €/m.

Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Averías (h)	20	20	22	18	14	19	26	28	25	20
Cambios (h)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Defectos (m)	80	60	100	150	-	50	50	80	-	30
Prod. total (m)	700	750	700	650	760	700	600	700	600	600

Después de llevar a cabo un proyecto de mejora continua se fijó una nueva producción teórica de 1600 m/mes y se estableció una parada programada de mantenimiento preventivo de 12 horas/mes (costo 10 €/hora). El costo del proyecto es de 60000 y debe amortizarse en 20 meses. Se recogieron datos en los 10 meses siguientes a la implantación del proyecto. Los datos recogidos son los siguientes:

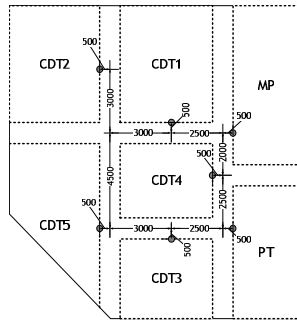
Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Averías (h)	28	25	20	21	21	17	10	8	7	8
Cambios (h)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Defectos (m)	70	70	100	150	-	-	120	110	80	60
Prod. total (m)	1100	950	1150	1150	1200	1000	1050	950	1300	1200

1. ¿Cómo ha variado el indicador de la eficiencia global del equipo?
2. ¿Ha merecido la pena el proyecto? ¿Por qué?

Figura III. Problema numérico sobre eficiencia.

4.2 Tema 2. Problemas sobre distribución en planta.- La preparación de problemas sobre análisis y mejora del flujo de materiales es más evidente. Se pueden proponer problemas sobre el uso y aplicación de herramientas de análisis de flujos, como la matriz de transferencia o los diagramas de proceso (Figura IV).

Las mejoras se deben cuantificar numéricamente comparando, por ejemplo, las distancias recorridas o los costos incurridos en la situación actual y la mejorada. También se puede incluir en el enunciado una mejora concreta y el alumno debe demostrar que es viable económicamente.



Una empresa dedicada a la fabricación de bombones presenta la distribución en planta de la figura, donde se representan las distancias entre CDT (en cms).

Los desplazamientos se realizan en carretilla, por los pasillos y siempre por el camino más corto entre los accesos a los CDT, representados por un círculo.

La siguiente tabla recoge datos de los 7 productos más vendidos y del número de pedidos del último año, que se considera representativo.

Prod.	CDT según secuencia de producción			Nº Pedidos
A	1	3	5	200
B	1	2	5	150
C	2	4	3	100
D	5	3		100
E	1	4	5	100
F	3	4	5	50
G	1	2		50

1. Realizar la matriz de transferencia de la planta.
2. Proponer una mejora del layout, teniendo en cuenta que en todos los CDT las máquinas ocupan la misma superficie (por lo que pueden cambiarse de ubicación) pero los almacenes no pueden moverse).
3. Demostrar cuantitativamente la mejora propuesta.

Figura IV. Problema numérico sobre flujo de producción

4.3 Tema 3. Problemas sobre Equilibrado de Líneas.- Se trata de los problemas clásicos basados en la aplicación de heurísticos en el equilibrado de líneas [2-16] (Figura V).

La novedad, en este caso, puede venir por la propuesta de equilibrados en U o la incorporación de tareas automáticas, que se pueden resolver matemáticamente de forma similar a los equilibrados tradicionales pero que permite aplicar herramientas Lean como, por ejemplo, la optimización de la fuerza laboral.

Se quiere diseñar una célula en U para fabricar un producto que se estima que tendrá una demanda de 42 unidades al día. La línea estará en funcionamiento 7 horas al día. Las tareas que deben realizarse se muestran en la tabla.

Tarea	Duración (minutos)	Predecesoras
A	5	-
B	1	A, C
C	1	-
D	3	C
E	12 (automática)	B, D
F	3	B, E
G	1	D, F
H	1	G
I	5	G
J	3	H, I

1. Hacer el equilibrado de la línea de manera que se minimice el número de estaciones aplicando el heurístico del rango de las duraciones posteriores.
2. Determinar la holgura total, el flujo medio de tiempo y el inventario en proceso.
3. Hacer el esquema de la distribución en planta de las estaciones indicando qué tareas se realizarán en cada una y los operarios que son necesarios.

Figura V. Problema numérico sobre equilibrado de líneas

4.4 Tema 5. Problemas sobre Métodos y Tiempos.- En este caso es posible plantear dos tipos distintos de problemas:

- Se puede realizar diagramas operario-máquina. Este tipo de diagramas representan la secuencia de actividades que realiza el operario y la máquina. Se emplean para analizar los tiempos muertos, y son una importante herramienta de mejora de métodos (Figura VI).

El diagrama operario-máquina de la figura muestra un proceso de fabricación. En la empresa quieren aumentar la producción. No saben si es mejor que el operario atienda a dos máquinas iguales o que, atendiendo dos máquinas, un ayudante realice el empaquetado de la pieza anterior.

Los costos asociados a este proceso son:

Salario de un operario 5 euros/hora

Salario de un ayudante 3 euros/hora

Amortización de una máquina 10 euros/hora

En la empresa trabajan un turno de 8 horas cada día.

1. ¿Cuál de los dos métodos es mejor desde el punto de vista de los costos?
2. ¿Y desde el punto de vista de producción máxima diaria?
3. Hacer el diagrama "operario-máquina" de las dos situaciones en estado estable.

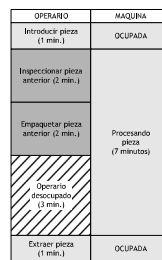


Figura VI. Problema numérico sobre Diagrama Operario-Máquina.

- Se puede comparar económicamente dos alternativas de mejora, comparando los costos de los recursos involucrados en cada alternativa y exigiendo, por ejemplo, un tiempo o un número determinado de piezas, para recuperar la inversión (Figura VII).

El diagrama operario-máquina de la figura muestra un proceso de fabricación. Después de aplicar las dos primeras fases del SMED se ha visto la necesidad de invertir en un dispositivo que cuesta 300 € y que permite eliminar la inactividad correspondiente a la preparación (4 minutos).

Los costes asociados a este proceso son:

Salario de un operario	5 €/hora
Amortización de una máquina	10 €/hora
Otros costos	1 €/pieza
Precio de venta	6,5 €/pieza

En la empresa trabajan 24 horas al día los 7 días de la semana.

- ¿En cuánto tiempo se recuperaría la inversión planteada?
- ¿Cuál es el costo pieza actual? ¿Y en la situación planteada?

OPERARIO	MAQUINA
Introducir pieza (2 min.)	OCUPADA
Preparar cambio pieza (6 min.)	Procesando pieza (2 min.)
	Tiempo muerto
Cambio pieza (4 min.)	OCUPADA
Inspeccionar pieza Anterior (7 min.)	Procesando Pieza (5 min.)
	Tiempo muerto
Ext. pieza (1 min.)	OCUPADA

Figura VII. Problema numérico sobre Métodos y Tiempos

En ambos casos se pueden plantear problemas relacionados con conceptos o herramientas explicados en la parte teórica. Por ejemplo la duplicación de utillajes en una implantación del SMED (es el caso del problema de la figura) o las consecuencias de una inversión en ahorro energético.

4.5 Problemas combinados.-Los problemas numéricos propuestos corresponden a situaciones habituales en los proyectos de mejora que abordan las empresas. Gracias a este tipo de problemas el alumno aprende a tomar decisiones que afectarán a la forma de gestionar una planta de producción.

Es importante notar que aquellas decisiones relacionadas con el equilibrado de líneas se realizan en la fase de diseño; las de métodos y tiempos se basan en suposiciones teóricas sobre cómo será la nueva situación si se implementa la mejora propuesta; y las del análisis del indicador de eficiencia se centran en el estudio de una situación real. De esta forma es posible combinar ejercicios que hagan reflexionar al alumno sobre la situación planteada.

Por ejemplo, se podría proponer un ejercicio basado en la decisión de invertir en un módulo que mejora un proceso de fabricación de una planta (combinación de problemas del Tema 1 y del Tema 5). El alumno tomará la decisión correcta basada en el análisis de los costos de producto y las condiciones exigidas por la empresa para recuperar la inversión (Figura VIII).

El diagrama operario-máquina de la figura muestra un proceso de fabricación. La cétula está formada por 2 máquinas atendidas por el mismo operario. En la empresa quieren mejorar el proceso, reduciendo sus costos y recuperando la inversión en 2 años. Para mejorar el proceso han pensado en invertir en un módulo semiautomático de inspección para cada máquina (80.000 €/módulo) que reduce la operación de inspección a 1 minuto y que no permite procesar la siguiente pieza hasta que no verifica que la pieza procesada es correcta.

Los costos asociados a este proceso son:

Salario del operario	10 €/hora
Amortización de una máquina	15 €/hora
Otros costos	0,3 €/pieza
Precio de venta	9,0 €/pieza

- ¿Merece la pena la inversión? ¿Por qué? La empresa fabricaría el artículo 250 días al año y 24 horas al día.
- Existe la posibilidad de incluir un dispositivo en cada módulo que realiza la operación de forma automática en 2 minutos pero que sí permite procesar la siguiente pieza mientras verifica que la pieza procesada es correcta. Su costo es de 100.000 €/dispositivo. ¿Merece la pena incluirlo en cada módulo?

OPERARIO	MAQUINA
Introducir pieza (2 min.)	OCUPADA
Inspeccionar pieza anterior (3 min.)	Procesar pieza (8 min.)
Empaquetar pieza anterior (2 min.)	OCUPADA
Extraer pieza (2 min.)	

Figura VIII. Problema combinado. Primera parte

En el mismo examen se podría proponer el estudio, a través del análisis de los indicadores, de la situación propuesta en el problema anterior (Figura IX).

Podría ocurrir (como de hecho ocurre en este par de problemas) que el comportamiento real de la máquina sea contradictorio con la decisión tomada en el primer problema, ya que no se tenían en

cuenta algunos aspectos propios de la máquina, como las inactividades que ocasiona el módulo propuesto para la máquina.

Las dos máquinas de una célula de producción son capaces de producir una pieza cada 9 minutos. El costo de avería es de 30 €/h, el de cambio 40 €/h, el de producción 6,3 €/u y el precio de venta es de 9 €/u. La empresa trabaja 10 meses al año, 24 horas al día y 25 días cada mes. La siguiente tabla presenta los resultados obtenidos en 10 meses de trabajo.

Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Averías (h)	10	10	20	-	30	-	-	-	50	20
Cambios (h)	30	-	10	20	10	-	20	20	10	-
Defectos (u)	60	90	30	-	-	60	30	-	60	30
Prod. total (u)	3200	3400	3200	3400	3200	3500	3300	3300	3100	3000

Se realizó una inversión en dos módulos semiautomáticos de inspección de piezas (80.000 €/módulo), que no permiten procesar la siguiente pieza hasta que no verifican que la pieza procesada es correcta. Se recogieron datos los 5 meses siguientes a la inversión, que debería recuperarse en 2 años de trabajo. Se fijó un nuevo ciclo teórico de 7 minutos por pieza y un costo de producción de 4,97 €/pieza.

Mes	1	2	3	4	5
Averías (h)	15	20	10	5	10
Cambios (h)	15	-	-	30	15
Defectos (u)	30	90	50	20	15
Prod. total (u)	3200	3000	3200	3200	3400

Aunque inicialmente se había rechazado su inversión, se decidió incluir un dispositivo en cada módulo, que realizaba la operación de forma automática pero que permitía procesar la siguiente pieza mientras verificaba que la pieza procesada era correcta. Su costo era de 100.000 €/dispositivo y sólo quedaba 1,5 años para recuperar la inversión. Se fijó un nuevo ciclo teórico de 6 minutos por pieza y un costo de 4,3 €/pieza. La siguiente tabla recoge los datos obtenidos los 5 meses siguientes a la implantación.

Mes	1	2	3	4	5
Averías (h)	20	15	10	10	10
Cambios (h)	10	10	-	20	20
Defectos (u)	30	10	30	10	20
Prod. total (u)	5700	5700	5800	5700	5600

1. ¿Ha merecido la pena el proyecto? ¿Por qué?
2. A la vista de los datos y los resultados ¿Qué hubiera tenido que hacer la empresa?

Figura IX. Problema combinado. Segunda parte

La tipología de problemas presentados permite desarrollar un conjunto de destrezas en los alumnos, enfocadas al razonamiento estructurado de los problemas que pueden presentarse en un entorno productivo.

5. Conclusiones.- Este artículo propone un programa docente distinto al tradicional para la asignatura Gestión de Producción basado en la explicación del Lean Manufacturing. El programa propuesto incluye la posibilidad de evaluar cuantitativamente los conocimientos, de forma que la asignatura responde a las necesidades de mejora de las empresas a través del estudio práctico de las herramientas Lean.

De esta forma se dota al alumno de una visión global de la mejora de la producción de una planta y se establecen los principios del Lean Thinking. Como consecuencia, el alumno estará capacitado para identificar y eliminar despilfarros en cualquier área de una empresa, tanto productiva como de servicio.

6. Referencias

- [1] Chase R., Jacobs, FR., Aquilano, N; *Administración de Operaciones. Producción y Cadena de Suministros*, 2009, McGraw-Hill, México.
- [2] Hopp, W., Spearman, M.L.; *Factory Physics*, 2000, McGraw-Hill, New York
- [3] Nakajima S.; *TPM. Introducción al TPM*, 1993, Productivity, Madrid
- [4] Ford, H.; *Today and Tomorrow*, 1988, Productivity Press, New York
- [5] Elsayed E.A., Boucher T.O.; *Analysis and Control of Production Systems*, 1985 Practice-Hall, New Jersey,
- [6] Shingo, S. *Una revolución en la producción: El sistema SMED*, 1990, TGP-Hoshin, S.L., Madrid
- [7] Monden Y.; *El sistema de producción Toyota*. 1988, IESE, Barcelona
- [8] Kobayashi I.; *20 Claves para mejorar la fábrica*, 1993, TGP-HOSHIN, Madrid
- [9] Hirano H.; *El JIT Revolución en las fábricas*, 1990, Productivity Press, Cambridge-Massachussets
- [10] Womack, J.P., Jones D.T.; *Lean Thinking*, 1996, Free Press, New York.

- [11] Goldratt, E.; *La Meta*, 1993, Díaz de Santos, Madrid, 1993
- [12] Domínguez-Machuca J.A., García, S., Ruiz A., Domínguez, M.A., Alvarez, M.J.; *Dirección de Operaciones*, 1995, McGraw-Hill, Madrid
- [13] Heizer, J., Render, B. *Dirección de Producción*, 1997, Prentice Hall Ibérica, Madrid
- [14] Real Decreto 1393/2007. *Boletín Oficial del Estado*. **260**. pp. 44037-44048
- [15] Santos J., Wysk, R., Torres, J.M.; *Mejorando la producción con Lean Thinking*. 2010, Pirámide, Madrid
- [16] Cuatrecasas L.; *Diseño de procesos de producción flexible*, 1996, Productivity. Madrid.