

Lluís Cuatrecasas

INGENIERÍA de PROCESOS y de PLANTA

Ingeniería Lean



Con la colaboración de:



Instituto Lean Management



INGENIERÍA
DE PROCESOS
Y DE PLANTA

Ingeniería *lean*

Si deseas estar informado de nuestras novedades, te animamos a que te apuntes a nuestros boletines a través de nuestro mail o web:

www.profiteditorial.com
info@profiteditorial.com

Recuerda que también puedes encontrarnos en las redes sociales:

 **@profiteditorial**
 **facebook.com/profiteditorial**

INGENIERÍA DE PROCESOS Y DE PLANTA

Ingeniería *lean*

Lluís Cuatrecasas



Instituto Lean Management



© Lluís Cuatrecasas, 2017
© Profit Editorial I., S.L. 2017
Travessera de Gràcia, 18; 6º 2ª; Barcelona 08021

Diseño de cubierta: XicArt
Maquetación: freiredisseny.com

ISBN: 978-84-16904-01-3
Primera edición: marzo, 2017

Producción del ebook: boqlab.com

No se permite la reproducción total o parcial de este libro, ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio, sea electrónico, mecánico, por fotocopia, por grabación u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito del editor. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual (Art. 270 y siguientes del Código Penal).

Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra (www.conlicencia.com; teléfono 91 702 19 70 – 93 272 04 45).

Referencias

Sobre el autor

Lluís Cuatrecasas es director y profesor de programas de formación en organización industrial de alto nivel y asesor de empresas industriales, muy especialmente en lo concerniente al Lean Manufacturing. Es autor y coautor de más de una docena de libros y manuales, así como artículos para prestigiosas revistas en el ámbito de la gestión industrial (producción, calidad, logística, mantenimiento...). Imparte conferencias en foros de diversos países relacionados con la organización industrial en general y el Lean Management en particular.

[Más información sobre el autor](#)

Sobre el libro

Este libro es un compendio de cuanto se precisa conocer y aplicar para diseñar los procesos de producción, con todos los elementos que requieran las operaciones que los conforman (materiales, máquinas, instalaciones, elementos de transporte...), para luego desarrollarlos al detalle y, finalmente, implementarlos en una planta dispuesta al efecto. De hecho, el libro abarca la doble misión de la ingeniería de procesos y de planta: diseñar, desarrollar y organizar los procesos y sus operaciones siguiendo las pautas del modelo de gestión utilizado, tratando de optimizar las magnitudes clave de la eficiencia, como la productividad, la calidad, el tiempo de proceso o el stock generado. Por otra parte, la otra misión es la de determinar y adquirir las máquinas y equipos técnicos necesarios, ajustando sus características a las necesidades de los procesos. Además, el diseño y organización de procesos y plantas de producción han de ajustarse a un modelo de gestión y aquí aparece una nueva dicotomía: el pensamiento tradicional frente a los modelos de gestión avanzados, muy especialmente el lean manufacturing, que supone una forma muy distinta de enfocar la ingeniería, lo que evidentemente supondrá un tratamiento muy distinto, que se refleja ampliamente en esta obra.

[Más información sobre el libro y/o material complementario](#)

[Otros libros de interés](#)

Web de Profit Editorial

Hemos eliminado los costes improductivos examinando los recursos disponibles, reparando máquinas, mejorando los procesos de fabricación, instalando sistemas autónomos, mejorando herramientas, analizando los métodos de transporte y optimizando la cantidad de material disponible para su procesamiento. Para mantener un alto rendimiento de la productividad, también nos hemos basado en la prevención de la recurrencia de productos defectuosos, errores operacionales y accidentes, e incorporado las ideas de los trabajadores.

Taiichi Ohno

ÍNDICE

Introducción

Capítulo 1. La ingeniería de procesos y de planta

- 1.1. Introducción a la ingeniería de procesos
- 1.2. Funciones de la ingeniería de procesos
- 1.3. Ingeniería de procesos e ingeniería de planta. Ámbito de actuación
- 1.4. Materiales, productos y su manipulación y transporte
- 1.5. Aspectos relacionados con el *management* en ingeniería de procesos y de planta. *Lean management*

Capítulo 2. La ingeniería de procesos y la función productiva de la empresa

- 2.1. Actividades funcionales de la empresa en relación con la ingeniería y factores condicionantes
- 2.2. La producción. Procesos y operaciones
- 2.3. Competitividad de la producción y estrategias en ingeniería de procesos y plantas
- 2.4. La producción, su organización y gestión
- 2.5. Procesos de producción. Características y análisis
- 2.6. Disposición de los procesos. Modelos básicos de distribución en planta
- 2.7. Relaciones entre las decisiones que afectan al producto y a su producción: la matriz producto-proceso
- 2.8. Los nuevos tipos de producción: la matriz producto-proceso completa

Capítulo 3. Planteamiento general de un sistema productivo

- 3.1. La primera misión de la ingeniería de una planta: distribución global

de todos los elementos que la integran

- 3.2. Planteamiento general para el estudio de la implantación
- 3.3. Dimensionado de un sistema productivo
- 3.4. Localización de los sistemas productivos y sus plantas
- 3.5. Dimensionado de una planta de producción: determinación de la cantidad de máquinas y equipos necesarios
- 3.6. Evaluación de la superficie necesaria en una planta: *método de Guerchet*
- 3.7. Distribución de los equipos y sus puestos en una planta productiva.
Método de los eslabones
- 3.8. Obtención de las posibles soluciones. Caso práctico

Capítulo 4. Modelos de diseño e implantación en ingeniería de procesos

- 4.1. El modelo de gestión tradicional en masa. *Batch and queue*
- 4.2. La gestión de la implantación *batch and queue* y su mejora
- 4.3. La distribución en planta por talleres y su mejora

Capítulo 5. Modelos de diseño e implantación en ingeniería de procesos

- 5.1. Los enfoques avanzados en el diseño e implantación de procesos productivos: *lean manufacturing*
- 5.2. Valor añadido y desperdicios en los procesos
- 5.3. 5S y SMED: herramientas clave para operar en modo lean
- 5.4. Comparación de los modelos masa-batch and queue y lean
- 5.5. Caso práctico de evolución desde una operativa tradicional hasta el *lean manufacturing*

Capítulo 6. Movimiento de materiales en planta

- 6.1. Flujo de materiales. Flujo en ingeniería de procesos *lean*
- 6.2. El flujo pull o tirado, mediante el sistema *kanban*
- 6.3. Elementos de soporte para el flujo de materiales e información
- 6.4. Caso práctico de evolución desde una operativa tradicional hasta el *lean manufacturing*. Etapa de establecimiento del flujo *pull*

Capítulo 7. Diseño de procesos y plantas de producción

- 7.1. Diseño e implantación de procesos y sus puestos de trabajo.
Modalidades y métricas de eficiencia básicas

- 7.2. Actividades con ciclo de trabajo y con ciclo de máquina. Puestos de trabajo multitarea
- 7.3. Diseño de procesos altamente eficientes y flexibles. La ingeniería de procesos *lean*: células flexibles en U
- 7.4. Diseño del flujo en los procesos. Establecimiento de la secuencia de sus operaciones. Diagrama de precedencias
- 7.5. La ingeniería de planta y las células flexibles. Asignación de tareas a los puestos de trabajo
- 7.6. Ingeniería de procesos *lean*: la flexibilidad en los procesos
- 7.7. Caso práctico de evolución desde una operativa tradicional hasta el *lean manufacturing*. Etapa de establecimiento del flujo *pull*

Capítulo 8. *Layout* de procesos de fabricación. Taller celular

- 8.1. Distribución en planta de los procesos. Distribución *lean*
- 8.2. Aspectos determinantes del *layout* en ingeniería de procesos
- 8.3. *Layout* híbrido para la producción. Taller celular
- 8.4. Operaciones de ensamblaje o montaje en ingeniería de procesos. El montaje con *layouts* de tipo celular
- 8.5. Traslado del producto en el montaje. Uso de transportadores
- 8.6. Aprovisionamiento de materiales para los montajes
- 8.7. Automatización de los procesos de ensamblaje

Capítulo 9. Máquinas en procesos. *Jidoka*

- 9.1. Las máquinas en procesos productivos. Influencia del tamaño
- 9.2. Las máquinas en procesos *lean*. *Jidoka* y su implantación
- 9.3. Tipología y características de las máquinas de procesos industriales más usuales
- 9.4. La automatización en ingeniería de procesos
- 9.5. La automatización en *lean manufacturing*. Líneas *chaku-chaku*
- 9.6. Automatización mediante células flexibles con tecnología de grupos y sistemas FMS
- 9.7. Equipos específicos de la producción automatizada: máquinas de control numérico (NC) y control numérico por ordenador (CNC)
- 9.8. Robots industriales y manipuladores

- 9.9. La automatización y computerización en la ingeniería de procesos
- 9.10. Implantación de procesos de producción automatizados en flujo discreto o continuo

Capítulo 10. La ingeniería de los procesos de producción para múltiples productos, modelos o referencias

- 10.1. Tipos de producción multiproducto
- 10.2. Variedad real de la gama de productos. Análisis P-Q
- 10.3. Criterios para la correcta implantación multiproducto
- 10.4. Diseño de líneas multiproducto. Condicionantes
- 10.5. Secuencia de operaciones de una línea multiproducto
- 10.6. Diseño de líneas de producción multiproducto: método de redistribución de capacidades
- 10.7. Diseño de la línea multiproducto con asignación de tareas a los puestos de trabajo
- 10.8. Caso práctico de evolución desde una operativa tradicional al *lean manufacturing*. Etapa de implantación de línea multiproducto

Capítulo 11. Estudio y mejora de los métodos de trabajo. Determinación de tiempos de operaciones

- 11.1. Tipos de actividades y su representación
- 11.2. Registro analítico de las actividades de un proceso
- 11.3. ¿Qué es y cómo se enfoca la mejora de métodos?
- 11.4. Etapas de la mejora de métodos
- 11.5. Transporte y manipulación de materiales
- 11.6. Análisis de los desperdicios más importantes en los procesos de producción
- 11.8. Adaptación de los transportadores a producción flexible y sin desperdicios
- 11.9. Metodología para acometer la mejora de métodos
- 11.10. Estudio de tiempos en los procesos de producción. El contenido de trabajo
- 11.11. El cronometraje
- 11.12. Sistemas de normas de tiempos predeterminados

11.13. Movimientos y tablas de tiempos MTM-2

11.14. La mejora de métodos por medio de los sistemas de tiempos predeterminados

Apéndice. Una aproximación a la productividad y costes de los procesos

Bibliografía

INTRODUCCIÓN

Este libro es un compendio de cuanto se precisa conocer y aplicar para diseñar los procesos de producción, con todos los elementos que requieran las operaciones que los conforman (materiales, máquinas, instalaciones, elementos de transporte, etc.), para luego desarrollarlos al detalle y, finalmente, implementar todo ello en una planta dispuesta al efecto, junto con los elementos requeridos. Lo concerniente al diseño, cálculo y desarrollo, constituye lo que conocemos como *ingeniería de procesos* y la implantación real es responsabilidad de la *ingeniería de planta*.

Dice la web de Laboris que «la misión fundamental del ingeniero de procesos es diseñar, poner en marcha y ejecutar todo lo necesario para obtener la óptima explotación de los sistemas o procesos a instalar en los Departamentos de Producción de las empresas industriales.» Y continúa afirmando que «cuando el Departamento de Producción necesita modificar o implantar un nuevo sistema o proceso lo solicita al Departamento de Ingeniería de Procesos para que lo desarrolle. Éste realiza el encargo y lo detalla por escrito en un documento en el que indica todo lo que hará falta para llevarlo a la práctica (maquinaria, mano de obra, circuito de trabajo, etc.).»

La labor, tanto de la ingeniería de procesos como de la de planta, tiene un doble cariz:

- Diseñar, desarrollar y organizar los procesos y sus operaciones siguiendo las pautas del modelo de gestión utilizado. Esta labor utilizará las técnicas cuantitativas y cualitativas necesarias para optimizar las magnitudes clave de la eficiencia, tales como la productividad, la calidad, el tiempo de proceso o el stock generado.

- Determinar y adquirir o construir las máquinas y equipos técnicos capaces de ejecutar los procesos diseñados anteriormente, lo que requerirá también información cuantitativa y cualitativa, en este caso, de carácter técnico, relacionada con la capacidad, velocidad, tiempos de ciclo, etc.

Por lo que respecta al diseño y organización de procesos y plantas de producción, han de ajustarse a un modelo de gestión y, aquí, aparece una nueva dicotomía: el pensamiento tradicional frente a los modelos de gestión avanzados, muy especialmente el *lean manufacturing*, que supone una forma muy distinta de enfocar la ingeniería, lo que evidentemente supondrá un tratamiento muy distinto que necesariamente se reflejará en esta obra.

Por todo ello se ha procurado que el lector encuentre en ella todo cuanto acabamos de describir y en particular:

El primer capítulo destaca la funciones y ámbito de actuación de la ingeniería de procesos y cuanto hace referencia a los elementos involucrados: máquinas y equipos y su disposición en planta, materiales, productos y su manipulación y transporte.

También son objeto del primer capítulo los aspectos relacionados con el management en ingeniería de procesos y de planta y muy especialmente lo concerniente al *lean manufacturing*.

En el segundo capítulo nos adentramos en la producción, los procesos y las operaciones que componen los mismos, y se establecerán criterios y estrategias. A partir de aquí el libro se centrará en las características y análisis de los procesos de producción y su distribución en planta, además de distinguir entre los distintos tipos de ésta.

A continuación se presenta, en el tercer capítulo, un primer planteamiento y dimensionado de una planta, pero a escala global, antes de entrar en el detalle de sus procesos.

El siguiente capítulo se centra en los modelos de diseño e implantación en ingeniería de procesos y la necesidad de dar un tratamiento diferenciado entre la gestión tradicional y el modelo *lean* que, a partir de aquí, se dará en el resto de la obra.

Así, este capítulo se basa en el modelo batch & queue (enfoque tradicional) con la distribución en planta por talleres y las características destacadas de ésta,

mientras que en el capítulo que le sigue se aborda la ingeniería de procesos para los sistemas avanzados *lean* manufacturing, que se extenderá en las técnicas especiales de este sistema más relacionados con la ingeniería de procesos: la organización de la planta y la preparación de máquinas.

Por su parte, el capítulo sexto se refiere al movimiento de materiales en una planta, aspecto en el que el tratamiento de los dos modelos de gestión ya comentados no puede ser más opuesto: el conocido como *push* tradicional, frente al *pull* propio de la gestión *lean*.

Continuando con todos los aspectos que rodean el diseño y desarrollo de procesos, el capítulo séptimo se adentra ya en el diseño de procesos y plantas de producción, con el detalle necesario, especialmente en lo concerniente a la ingeniería de procesos *lean* y lo que se conoce como *células flexibles*, que cubren uno a uno todos los aspectos que han de tratarse (modalidades de diseño, puestos de trabajo, flujo de operaciones y de materiales, etc.).

A continuación, y en un nuevo capítulo, se procede a tratar un aspecto clave para la ingeniería de procesos y de planta: la distribución o layout de los procesos en una planta industrial, al distinguir entre la distribución por talleres tradicional y la de tipo celular propia del *lean* manufacturing. La exposición no termina sin ocuparse de aspectos involucrados, tales como el transporte de materiales y los aprovisionamientos.

Además, hay un apartado especial para los procesos de montaje, sus características específicas y su layout, automatizado o no.

El capítulo noveno está íntegramente dedicado a las máquinas que efectúan los procesos y, una vez más, el papel especial que juegan en el *lean* manufacturing, para el que la automatización total —tan deseada en los enfoques tradicionales— no es de recibo: las máquinas deben estar controladas por el operador; sin embargo, han de ser capaces de autocontrolarse (*jidoka*).

Entrando en aspectos técnicos, este capítulo aborda las características de las máquinas de procesos industriales más usuales: para acero y otros metales, para materiales plásticos y para la industria electrónica, además de ocuparse de describir los utillajes para las fabricaciones en serie.

Dada la trascendencia de la automatización en la actualidad, hay un apartado específico para tratar su rol en la ingeniería de procesos, que lleva a considerar los sistemas de fabricación conocidos como FMS (flexible manufacturing systems), las máquinas programables (control numérico) y los robots y manipuladores, para acabar con la automatización y computarización

en la ingeniería de procesos (CIM).

El capítulo diez se ocupa del diseño y desarrollo de los procesos más complejos en ingeniería: la producción multiproducto, es decir, la de varios modelos o referencias de producto, simultáneamente. Se abordarán los tipos de producción multiproducto, los criterios para implantarla y, por supuesto, el diseño de las líneas correspondientes, lo que exige agrupar los productos por familias, establecer una secuencia común de operaciones y distribuir las tareas entre los puestos.

El último capítulo está dedicado a un aspecto clave en ingeniería de procesos y de planta: el estudio y mejora de los métodos de trabajo y la determinación de tiempos de las operaciones. Partiendo de las reglas de la economía de movimientos se aborda la mejora de métodos.

Por lo que se refiere a los tiempos, se exponen las dos técnicas utilizadas para ello: el cronometraje y las normas de tiempos predeterminados y tabulados.

Con todo ello, el lector dispone de un manual que ha de ayudarle en todos los aspectos que precise conocer acerca de la ingeniería de procesos y de plantas y, muy especialmente, con la orientación *lean*.

1

LA INGENIERÍA DE PROCESOS Y DE PLANTA

ÁMBITO DE ACTUACIÓN Y FUNCIONES

1.1. Introducción a la ingeniería de procesos

La *ingeniería de procesos* pretende, expresado de una manera general, la organización y gestión de la planificación, diseño y desarrollo de sistemas productivos, así como la posterior implantación de los mismos y su operativa. Para ello, tales sistemas cuentan con equipamientos productivos, personas a cargo de los mismos y materiales para llevar a cabo dicha operativa. Finalmente, un flujo de información debe asegurar el adecuado control, así como la eficiencia y la rentabilidad del sistema productivo.

De una forma más concreta, la *ingeniería de procesos* es el área de la empresa responsable del desarrollo de los procesos, compuestos de operaciones y otras actividades, que permitan obtener un producto previamente o simultáneamente diseñado y desarrollado. De existir de forma independiente, esta última función está a cargo del área de *ingeniería de producto*, por lo que ambos tipos de ingeniería deben estar necesariamente vinculados.

Por lo que se refiere a las funciones de las que es responsable, la ingeniería de procesos ha de investigar las opciones por las que puede optar, para luego

diseñar, desarrollar e implementar el conjunto de procesos que se precise, de forma que transformen y ensamblen los materiales que componen el producto, con el mínimo consumo de todo tipo de recursos (y, con ello, el mínimo coste), con la calidad exigida y con el mínimo tiempo de respuesta. Buena parte de estas responsabilidades debe facilitarlas el adecuado diseño del producto y sus características, así como la óptima selección de materiales, lo que justifica la vinculación de la ingeniería de procesos con la de producto, lo que —como veremos— llegará a su máxima expresión con la ingeniería concurrente. Finalmente, todo este conjunto de funciones debe estar debidamente coordinado con la logística interna y externa del sistema productivo.

La actividad de la ingeniería de procesos tiene una fuerte repercusión en el producto obtenido y el nivel de competitividad de la actividad productiva, con aspectos actualmente muy controvertidos tales como el nivel de maquinización y la automatización de los procesos y, con ello, la intervención del trabajo humano. En este aspecto, el continuo avance de la tecnología exige la actualización de las inversiones en maquinaria, que, a su vez, supone un riesgo de obsolescencia antes de que se hallen amortizadas. Ello implica, además, que el desarrollo de la ingeniería de procesos de un nuevo modelo de producto debe llevarse a cabo con la mayor rapidez posible, pero cubriendo adecuadamente todas las etapas para alcanzar un desarrollo de los procesos altamente competitivo, que dará lugar a una nueva situación comprometida.

En todo caso, el ahorro de tiempo en el desarrollo y, por tanto, en el lanzamiento del nuevo modelo supone mucho dinero en juego. Por ello, la ingeniería de procesos ha de anticiparse a la finalización del diseño y desarrollo de producto, incluso a los estudios de mercado relacionados con las características, volúmenes y precios potenciales para el producto en cuestión. Todo ello vincula la actividad de la ingeniería de procesos no solo con la de productos, sino también con otras áreas de la empresa. La figura 1.1 representa cómo pueden llegar a solaparse las distintas fases del desarrollo de un producto y sus procesos, desde el concepto hasta la industrialización del mismo tras la actividad desplegada por la ingeniería de procesos, para la que hemos indicado con unas flechas su ubicación definitiva en relación con la ingeniería de producto, dados los pros y contras mencionados en relación con su anticipación.

La ingeniería de procesos, por otra parte, debe continuar su cometido

después de finalizar y dar lugar a la planta en la que se llevará a cabo la producción correspondiente, ajustar las condiciones en que se producen las operaciones y realizar mejoras en las mismas, que pueden dar lugar a rediseños, mejoras en la calidad, mejoras en los tiempos, etc.

La ingeniería de procesos debe generar también toda la información que precisen otras áreas de la empresa vinculadas con el sistema productivo, así como el necesario *know-how* acerca de todo cuanto afecta al mismo y permita una implantación adecuada y, por supuesto, abordar las mejoras a las que hemos aludido más arriba.

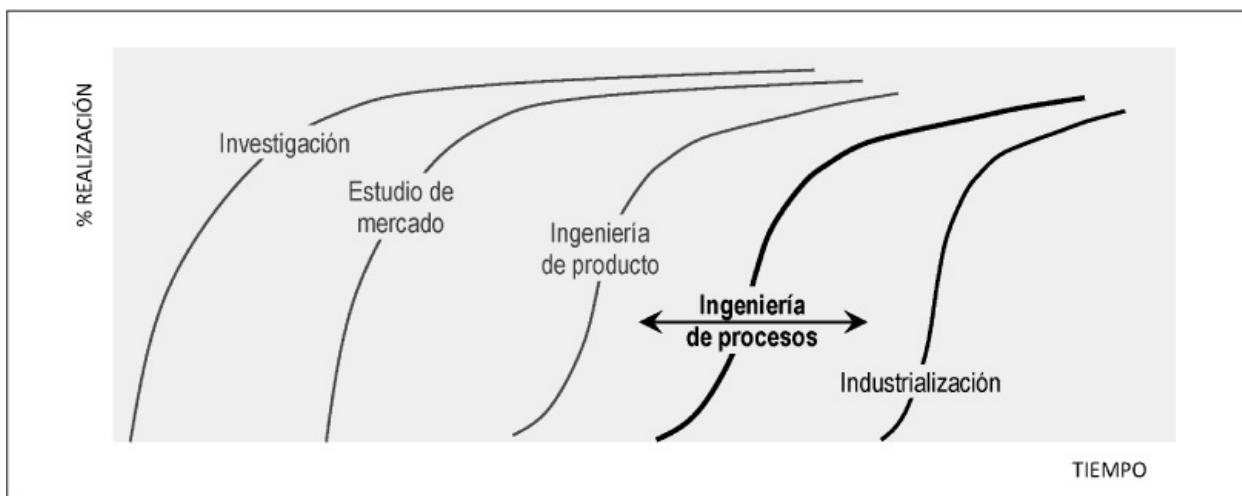


Figura 1.1. Fases del desarrollo de un producto hasta su lanzamiento.

Este *know-how* puede adquirirse a partir de la investigación que precede a todo el diseño y desarrollo de procesos, pero se puede facilitar mediante la simulación y aplicándolo antes a un área piloto. Además, una de las mejores formas de potenciar el *know-how* es la innovación en todos los aspectos comprometidos entre las funciones de la ingeniería de procesos. La innovación, en fin, puede encontrar vías para mejorar todos los objetivos de la ingeniería (productividad, calidad, tiempo de respuesta, etc.), pero de forma que se reduzca cada vez más el consumo de recursos necesarios para el sistema productivo y, con ello, los costes.

La *innovación* y la *eficiencia* en su aplicación al diseño, desarrollo e implantación de procesos son, en fin, las claves del resultado obtenido.

La ingeniería de procesos es una disciplina cuyo cometido está vinculado con otras que, en conjunto, conforman el desarrollo completo de todo cuanto

precisa un sistema productivo para completar la correspondiente producción. El esquema de la figura 1.2 representa dicho conjunto y su vinculación con la ingeniería de procesos.

En esta obra, se abordará la *ingeniería de procesos* y, también, la *ingeniería de planta*, ya que esta última consiste en la implantación física de los procesos diseñados y desarrollados por la primera; sin embargo, la encararemos ciñéndonos a los aspectos relacionados con la implantación de los procesos, no con los de mantenimiento, aprovisionamiento u otros. La *ingeniería de producto*, cuya función está centrada en el producto y no los procesos, no está contemplada en este libro, lo que no obsta para confirmar lo ya expuesto anteriormente: que ha de estar muy coordinada con la ingeniería de procesos, de modo que se diseñen productos cuyos procesos tengan la menor complejidad y costo posible. Tampoco se halla en este libro la *ingeniería concurrente*, muy centrada en este papel de coordinar la ingeniería de producto con la ingeniería de procesos, hasta el punto de llevarse a cabo ambas de forma simultánea.

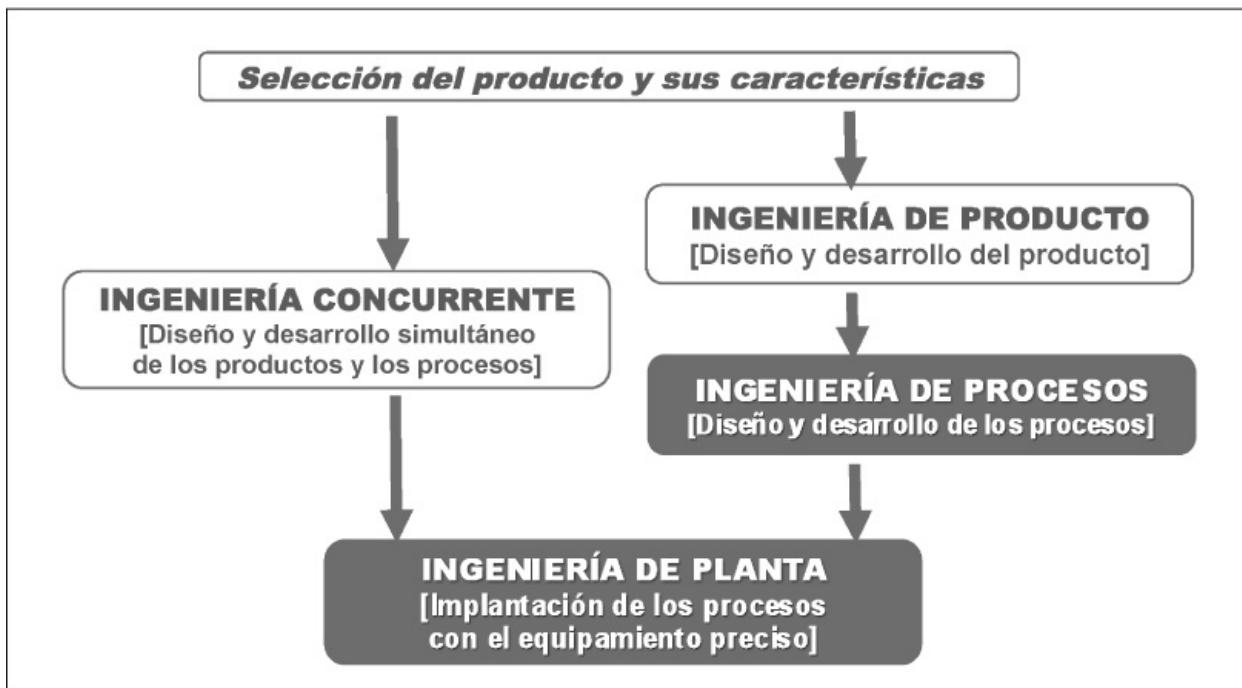


Figura 1.2. Ingeniería de procesos en el conjunto de actividades de un sistema productivo.

1.2. Funciones de la ingeniería de procesos

Las funciones de la ingeniería de procesos comienzan con la correcta determinación del que podemos llamar *problema básico*, es decir, lo que debe ser el objeto de los procesos a diseñar y desarrollar. Este objeto puede ser un producto concreto cuyo diseño esté ya concluido a cargo de la ingeniería de producto. Sin embargo, este planteamiento no debería ser el habitual, puesto que —tal y como ha sido ya expuesto— el diseño y desarrollo del producto no tendría que llevarse a cabo al margen de los procesos que lo convertirán en un producto real. Un diseño extraordinario puede implicar una complejidad asimismo extraordinaria en los procesos que hayan de llevar a cabo su producción. Además, la actuación coordinada de ambas ingenierías trae consigo importantes sinergias, cuyo máximo se produce operando con la ingeniería concurrente, tal como también ha sido ya comentado.

Así pues, el problema básico podría ser cubrir una necesidad concreta detectada en el mercado por medio de un producto diseñado de forma parcial o total. Un ejemplo de una industria dedicada a la fabricación de muebles de jardín podría ser un nuevo tipo de silla plegable para utilizar en el exterior, pero cuyo diseño presente varias alternativas, con varios tipos de materiales (acero, aluminio o plástico), cuya estructura presente asimismo varias alternativas (tubo, chapa estampada, plástico moldeado, etc.), de manera que la ingeniería de procesos pueda participar en lo que pueda afectarle en la decisión final.

En cualquier caso, debe definirse de forma correcta y completa cuál es realmente el problema básico, que en el ejemplo expuesto podría ser «diseñar, desarrollar e implantar los procesos correspondientes a un nuevo tipo de silla plegable para utilizar en el exterior con unas medidas y un peso máximos, que ocuparan un espacio mínimo al plegarse». En la definición del problema básico deben participar todos los departamentos que pueden estar implicados en su determinación.

Además, es necesario conocer todas las circunstancias que rodean al problema básico, tanto si provienen del mercado y su capacidad adquisitiva como si son exigencias de la tecnología, de las máquinas y equipamientos, de la capacidad de las personas, de los materiales que puedan precisarse, la localización y los sistemas de transporte y todo cuanto pueda afectar aunque

sea remotamente.

1.2.1. Los problemas específicos y el problema real

A partir del problema básico deberá encontrarse el que será el *problema real* a resolver, para el que se definen diversos *problemas específicos*, cuya solución pueda satisfacer el problema básico y concretar aspectos que en éste aún no lo estaban. Cada uno de los problemas específicos supondrá una alternativa para la ingeniería de proceso y, entre los planteados, deberá elegirse el que mejor se ajuste a las exigencias a cubrir. Éste será el problema real planteado a la ingeniería de procesos, que a su vez determinará todo cuanto ha de realizarse por parte de la misma.

Se tratará pues de ir concretando problemas específicos a partir del problema básico, que se convertirán en las alternativas entre las que elegir (en el ejemplo de la silla de jardín, proponiendo posibles alternativas de diseño y los tipos de materiales a emplear y tecnología para su transformación y ensamblaje). En esta fase es muy importante que la ingeniería de producto y la de procesos actúe de forma coordinada.

Las alternativas que suponen cada uno de los problemas específicos deberán analizarse a fondo en todos los aspectos posibles: tecnológicos, humanos, metodológicos, los relacionados con la calidad y, por supuesto, los económicos, entre otros.

De todo este análisis debe obtenerse la viabilidad de cada alternativa, elemento clave para convertirla en el problema real a abordar por parte de la ingeniería de procesos. Ello precisa mucha información, que puede obtenerse de fuentes muy variadas, que parten de la experiencia y conocimientos de la empresa, de desarrollos efectuados anteriormente, de otros procesos existentes, de los estudios de mercado, de la información acerca de determinadas tecnologías y de los métodos de trabajo, pero también la procedente de todos aquellos que se hallen implicados en el grupo de desarrollo, cuyas opiniones puedan encauzarse debidamente mediante sesiones de brainstorming, técnicas Delphi, etc.

La evaluación de cada una de las alternativas para determinar cuál será la elegida para constituir el problema real puede implicar, además, responder un cuestionario para cada una de las alternativas que permita una comparación

directa entre ellas. Las cuestiones que pueden ser objeto del mismo podrían ser del tipo:

- ¿Tiene sentido el planteamiento teniendo en cuenta la tecnología actual, los procesos que dominamos o podemos dominar, alcanzar la calidad exigida, los requerimientos del mercado, el volumen de ventas previsible, los costos del sistema productivo a desarrollar, etc.? Por ejemplo, el plástico inyectado en moldes exige la construcción previa de éstos y, por tanto, un volumen de producción mínimo.
- ¿Estamos ante un planteamiento inferior a otro que se halla también entre las alternativas que analizar? Podría ser el de la silla de jardín de chapa estampada (que exige disponer de las correspondientes prensas y matrices fabricadas ex profeso) frente a la de tubo doblado (que puede comprarse ya fabricado y a bajo precio).
- Una variante del punto anterior sería el de un planteamiento que no mejora otro que ya se ha visto que es inferior a un tercero. Sería el caso de una propuesta basada en la utilización de prensas con sus correspondientes matrices, que no mejorara la basada en la chapa estampada del ejemplo anterior.
- El planteamiento propuesto ¿exigirá un importante despliegue técnico o de inversiones económicas? Naturalmente, habría que calibrar si el despliegue podría ser amortizado, dados el volumen de producción, los costos finales que se alcanzarían u otros aspectos a tener en cuenta. Siguiendo con nuestro ejemplo de las sillas de jardín, éste podría ser el caso de entrar en la tecnología y los equipamientos necesarios para operar con aluminio, en lugar de hacerlo con acero, que es lo que conocemos y disponemos de la tecnología necesaria.
- El planteamiento propuesto ¿supondría una gran novedad para el mercado que nuestros canales de venta y distribución no están preparados para afrontar? El ejemplo anterior serviría si la problemática se hallara en el mercado en lugar de en la tecnología.
- ¿Pueden derivarse problemas de calidad o, peor aún, de seguridad, con el planteamiento analizado? Por ejemplo, en aras de lograr un producto muy liviano para poder manejarlo y transportarlo con facilidad, utilizar materiales en la estructura de una silla de jardín, que

no resistan según qué peso de una persona.

- El análisis de una alternativa dada ¿puede llevar a sugerir una alternativa superior? Un análisis realizado de forma profunda y concienzuda puede llevar a plantear mejoras que conduzcan a una alternativa claramente mejor, que sería la que debería tomarse en consideración. Esto podría aplicarse al ejemplo del caso anterior si la falta de resistencia de la estructura o del tejido del asiento llevara a considerar un nuevo tipo de material (una nueva aleación o un nuevo tipo de fibra textil) que, manteniendo liviana la silla de jardín, mejorara claramente su resistencia.
- El diseño o la tecnología planteada ¿puede violar alguna patente o alguna normativa de obligado cumplimiento? Éste es un aspecto que hay que tener en cuenta siempre, pero que, en contrapartida, puede dar lugar a que, de no ocurrir tales problemas, sean nuestro producto y nuestros procesos los que se puedan hallar protegidos por una patente o modelo de utilidad.
- Finalmente, no podemos olvidar los aspectos relacionados con la organización y gestión de los procesos que el planteamiento realizado puede condicionar. Así, por ejemplo, nos decantamos por un diseño exclusivo en plástico moldeado, que requiere construir los correspondientes moldes y disponer de los equipos especiales para el moldeo de las piezas de la silla de jardín; es posible que haya que limitar mucho los modelos o variantes de producto y producir sillas en lotes de grandes volúmenes todas iguales. Ello nos llevaría a organizar y gestionar los procesos mediante los sistemas clásicos conocidos como *mass production*, en lugar de adoptar las nuevas tendencias del *lean manufacturing*, mucho mejores en todos los aspectos, coste incluido, y que permiten volúmenes pequeños de producción de una variedad amplia de modelos, que probablemente sea lo que requiera nuestro mercado.

Determinar bien, en todos los aspectos, cuál es el problema real a plantear y resolver con el adecuado diseño y desarrollo de productos y procesos es de capital importancia para abordar las tareas de la ingeniería de procesos con la necesaria comunicación con la ingeniería de producto. La tecnología cada vez

más perfeccionada de que disponen los procesos en la actualidad, junto con la fuerte competencia y la globalización existente, no permiten fallo alguno en tales planteamientos.

Se trata de plantear la alternativa más satisfactoria técnica, económica y comercialmente. Éste será el problema real, cuya resolución supondrá desplegar la metodología y medios más adecuados dentro de la ingeniería de procesos, despliegue que se llevará a cabo en este libro. Exigirá definir bien los procesos, la tecnología que emplear, los medios de producción, el personal y, desde luego, el modelo de organización y gestión que desplegar, todo ello tras decidir qué procesos se desarrollarán directamente en la empresa y cuáles se externalizarán; otra decisión que será de gran trascendencia.

1.3. Ingeniería de procesos e ingeniería de planta. Ámbito de actuación

Según hemos establecido ya, la ingeniería de procesos actúa en todo lo referente a la puesta en producción de un producto —previamente o simultáneamente— diseñado y desarrollado. El diseño del producto, así como el volumen de producción previsto para el mismo, son los principales *inputs* de la actividad de la ingeniería de procesos, en la que el volumen será determinante para establecer la capacidad de la planta correspondiente e, incluso, la metodología para el establecimiento y diseño de los procesos.

Evidentemente, dicho diseño incluye las operaciones, su secuencia, las máquinas, equipos e instalaciones necesarias, además de las herramientas, utillajes y otros elementos necesarios. La información requerida para desarrollar esta labor provendrá, ante todo, del producto y sus especificaciones, pero, en lo relacionado con los procesos, puede provenir de la propia empresa y las fuentes de información a su alcance; asimismo, en todo lo que concierne al producto completo, han de colaborar los proveedores que, finalmente, hayan de responsabilizarse de la producción de una parte del mismo. Las partes de que se compone dicho producto, tanto si acaban siendo producidas por la propia empresa como si se hace cargo de ellas un proveedor, podrán ser:

- Materia prima

- Componentes semielaborados
- Componentes terminados

Por ejemplo, en un molinillo de café, la materia prima puede ser la granza para elaborar la tapa de plástico del producto, un componente semielaborado puede ser la placa de circuitos en la que falte aún el cableado y un componente terminado sería el motor eléctrico. Los tres ejemplos pueden y suelen ser suministrados por los correspondientes proveedores: la granza, procedente de una planta química especializada en materia prima para plásticos, la fabricación de la placa de circuitos se encargará habitualmente a una empresa especializada y en cuanto al motor eléctrico, ni se va a plantear su fabricación en la planta que produce el molinillo.

Establecido el conjunto de procesos más adecuados y decididos cuáles se abordarán directamente en la planta y cuáles se externalizarán, habrá que centrarse ante todo en cómo se han de plantear para cumplir con las especificaciones y prestaciones del producto diseñado. La maquinaria, herramientas, utillajes, moldes, matrices y otros elementos que se ha considerado que se precisan para todos los procesos del producto tendrán mucho que ver también con tales requerimientos.

Un aspecto especialmente importante que decidir en la ingeniería de procesos es determinar qué operaciones han de constituir cada proceso y con qué máquinas, personal y otros elementos se llevarán a cabo. Y, muy especialmente, decidir en qué orden o *secuencia* deben efectuarse dentro del proceso. Para ello es conveniente realizar el *diagrama de precedencias* del proceso o conjunto de procesos que exige el producto. En él, se situará cada operación después de aquellas que deben realizarse con anterioridad. Así, por ejemplo, una silla de jardín de tubo de acero pintado y asiento y respaldo de lona exige las operaciones incluidas en el diagrama de precedencias de la figura 1.3.

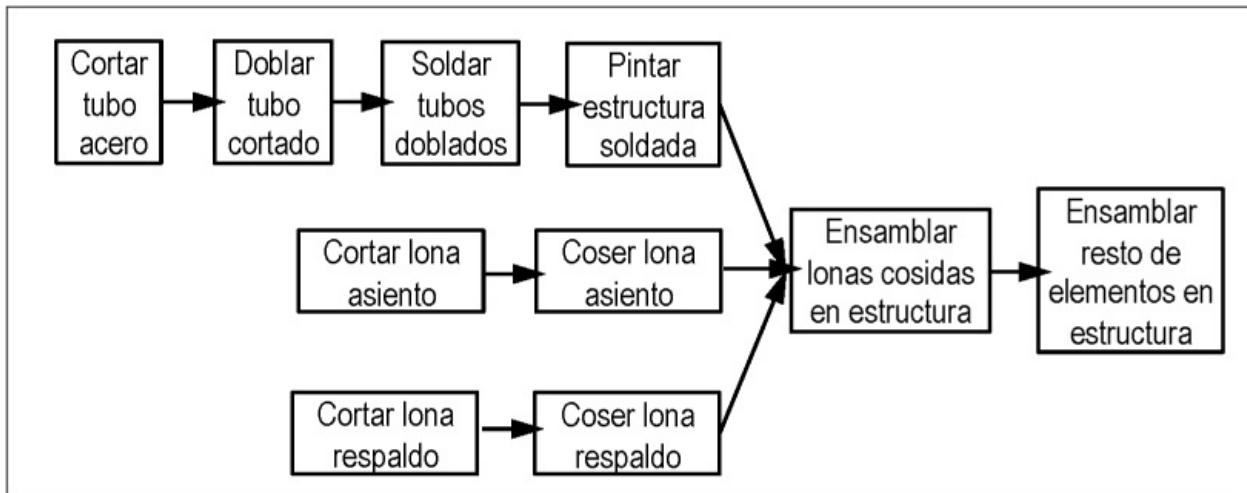


Figura 1.3. Diagrama de precedencias de las operaciones de un producto.

El ejemplo contiene las operaciones del producto agrupadas de forma que pueden constituir cuatro procesos (estructura soldada, lona del asiento, lona del respaldo y ensamblaje final), que pueden realizarse por separado y transferir el producto obtenido a otro de ellos o en un solo proceso en la secuencia adecuada, que respete el diagrama de precedencias: por ejemplo, el proceso de la estructura soldada y pintada puede hacerse antes que el de confección del asiento y del de confección del respaldo e, incluso, simultáneamente con ellos, pero el ensamblaje debe hacerse después de los tres anteriores. Y esto será igualmente importante si se pretende llevar a cabo todas las operaciones en un único proceso. Finalmente, también pueden combinarse las operaciones. Así, por ejemplo, el corte de la lona del asiento y respaldo podría combinarse en una sola operación.

En todas las operaciones de los procesos se deberá tener en cuenta su capacidad de producción, que determinará los tiempos que precisan para cada unidad de producto y dispondrá las máquinas y trabajadores necesarios para que tales tiempos se ajusten a la capacidad necesaria: basta que una operación no pueda alcanzar el ritmo que exige esta capacidad para que todo el conjunto de procesos no pueda generar producto al ritmo deseado (la operación se llamará entonces *cuello de botella*).

A los planteamientos técnicos han de seguir los de management, que comenzarán por decidir si van a implantarse y gestionarse tales procesos con enfoques clásicos —especialmente la conocida *producción en masa*— que propugna la operativa de una gran cantidad de producto simultáneamente en

pos de las llamadas *economías de escala* o bien, focalizar la producción con modelos avanzados que destaqueen poderosamente en la actualidad el conocido *lean manufacturing*, que se basa en una operativa a pequeña escala, y que obtengan bajos costes, no por economías de escala, sino economizando recursos por medio de la eliminación de lo que se conoce como desperdicios.

La implantación de los procesos, sea con un modelo u otro, vendrá acompañada de una serie de funciones que asumir y decisiones que tomar, que serán inevitablemente distintas según el modelo de gestión adoptado. Se tratará de diseñar y desarrollar todo cuanto sea necesario para la implantación efectiva y eficiente de los procesos, lo que abarcará una serie de aspectos que detallaremos en el próximo epígrafe.

Para poder llevar a cabo la producción queda aún la puesta en escena de todo ello en una planta real, que corre a cargo de la llamada *ingeniería de planta*, responsable de la implantación física de los procesos, la maquinaria y todos los elementos, así como su disposición en la planta de acuerdo con el diseño de los procesos, que incluye las propias naves donde se ha de desarrollar la producción, las instalaciones básicas (eléctrica, agua, aire comprimido, etc.) y las de los medios de producción. Consecuentemente, es tarea de la ingeniería de planta el mantenimiento de toda la implantación y sus instalaciones, que también puede llevarse a cabo mediante modelos más o menos avanzados; en este aspecto, el TPM o Mantenimiento Productivo Total es actualmente el más completo y avanzado.

La figura 1.4 presenta una máquina en una planta de fabricación, con las instalaciones que requiere (muy evidentes en la parte superior de la máquina) y el material dispuesto para su procesado (madera, en este caso) en una zona delimitada por líneas pintadas en el suelo.

La máquina puede realizar su tarea disponiendo en ella las herramientas y útiles u otros elementos necesarios, junto con el material a procesar, alimentado y descargado, una vez procesado, de forma manual o automática. Asimismo, la máquina puede operar realizando el proceso de una forma determinada de acuerdo con los elementos introducidos, o de forma programada, que posibilitaría distintas formas de realizar el proceso, de forma automática y con los mismos elementos (caso de las máquinas de control numérico). La automatización, además de la alimentación o descarga y la propia operativa, puede alcanzar también a la transferencia del producto a la siguiente máquina (sistema *transfer*).

Finalmente, será responsabilidad de la ingeniería de procesos y de planta la viabilidad técnica y económica de los procesos. Así pues, se determinará el montante de las inversiones y su recuperación, así como los costes de funcionamiento de los procesos, de forma que la producción a realizar tenga la rentabilidad prevista.



Figura 1.4. Maquinaria, instalaciones y material de un proceso en una planta.

1.3.1. Decisiones y funciones de la ingeniería de procesos y plantas

De acuerdo con lo expuesto, en relación con el ámbito de actuación de ambos tipos de ingeniería, podemos expresar que las funciones que éstas deben asumir, así como las correspondientes decisiones que tomar, todo ello de acuerdo con el diseño y especificaciones del producto, son las que se detallan a continuación:

- Procesos que diseñar y desarrollar.
- Operaciones de que se componen tales procesos.
- Secuencia de las operaciones de cada proceso y de los procesos entre ellos.
- Capacidad de producción necesaria, lo que implica prever la potencia o capacidad a instalar.
- Decidir qué procesos se realizarán en la propia planta y cuáles se externalizarán.
- Dimensionado de toda la planta y cuanto requiera cada uno de los procesos que se llevarán a cabo en la misma (no externalizados).
- Decidir si se diseñarán las operaciones de los procesos para un empleo intensivo de capital o predominará la mano obra (en las tendencias avanzadas de management se está tendiendo a esta última opción).
- Análisis de la necesidad de introducir flexibilidad en el diseño y ejecución de los procesos (en las tendencias avanzadas es indispensable).
- Tecnología a aplicar en todas y cada una de las operaciones.
- Máquinas, herramientas, instalaciones y otros elementos que ejecutarán las operaciones, de acuerdo con los dos puntos anteriores.
- Metodología para la preparación de las máquinas y otros elementos de los procesos. La tendencia actual es la aplicación de técnicas de preparación rápida, conocidas como SMED.
- Layout o implantación física de los mismos (en las tendencias avanzadas de management se está tendiendo a la implantación en flujo o cadena).
- Métodos de trabajo a emplear en cada una de las operaciones y en los procesos en su conjunto.
- Tiempos de ejecución de cada una las operaciones y capacidad de producción de las mismas.
- Asignar las tareas que componen las operaciones a cada uno de los puestos de trabajo, determinando el número de ellos y las habilidades requeridas en cada uno.
- Materiales necesarios para cada una de las operaciones.
- Sistemas de manejo de materiales y productos en elaboración.
- Puntos en los que se debe mantener un stock o inventario de materiales, determinando el tipo y el volumen que debe acoger.

- Gestión de los aspectos relacionados con la calidad y puntos de control para optimizar la calidad interna y la de servicio.
- Aspectos relacionados con el buen funcionamiento de los procesos y los elementos que los componen (mantenimiento).
- Aspectos relacionados con la seguridad y prevención de riesgos.
- Prever las posibilidades de crecimiento y expansión de la capacidad productiva.
- Análisis de las inversiones económicas y la capacidad financiera de la empresa para asumirlas.
- Análisis del sistema productivo diseñado y desarrollado, en relación con su viabilidad técnica y económica.

De todas formas, el despliegue de tales funciones nos llevará a otras de carácter complementario, que se desarrollarán a lo largo de esta obra. Un aspecto clave, del que nos ocuparemos ahora, es el que componen la tecnología, las máquinas y los equipos técnicos.

1.3.2. Elección de las máquinas y equipos y disposición en planta

Las máquinas y equipamientos que deberán adquirirse son un elemento clave en la ingeniería de procesos. La decisión de adquirir un tipo o modelo concreto de tales máquinas y equipos dependerá, por supuesto, de la tecnología que vaya a emplearse (que será una decisión técnica) y de la determinación de implementarla en modo intensivo de capital o no (que será una decisión de management, que puede depender en gran parte de los volúmenes de producción).

Los factores a tener en cuenta en la selección de máquinas y equipos técnicos son muchos, algunos de los cuales han sido contemplados en el epígrafe anterior relacionado con las funciones y decisiones de la ingeniería de procesos y plantas. Revisándolos ahora con un mayor grado de detalle, habremos de considerar como aspectos importantes:

- Inversión de capital requerida y posibilidades de financiación.
- Amortización de la inversión, que dependerá, en principio, de la cantidad de producto que se prevea que pueda procesar en su vida

útil.

- Posibilidad de obsolescencia antes de terminar su vida útil por los cambios en la tecnología o en el producto.
- Requerimientos de herramientas, útiles y otros elementos que se precisen para el buen funcionamiento.
- Complejidad del mantenimiento de tales máquinas y equipos, para asegurar el buen funcionamiento.
- Complejidad de la operativa con las mismas por parte del trabajador a cargo de ellas.
- Complejidad para asegurar una operativa que dé lugar a un producto correcto de acuerdo con los requerimientos de calidad.
- Flexibilidad de las máquinas y equipos para realizar la preparación para un cambio de producto, efectuada con rapidez y a bajo costo.
- Aspectos relacionados con la seguridad en la operativa y prevención de riesgos en la misma.
- Costo de funcionamiento de dichas máquinas y equipos y de su mantenimiento, incluyendo las piezas de repuesto (y, para éstas, el tiempo de suministro).

Todo ello, además de determinados aspectos que pueden ser importantes para ciertos procesos, debido a especificaciones concretas de los mismos o de los productos que deben procesar.

Entre las funciones de la ingeniería de procesos, hemos contemplado, junto con los aspectos relacionados con las máquinas y equipos técnicos que se utilizarán en los procesos, cuanto se relaciona con la implantación física de los mismos, lo que hemos denominado distribución en planta o *layout*. Aunque este es un tema clave en el diseño y desarrollo de los procesos, íntimamente relacionado con los aspectos de management, que será desarrollado ampliamente en capítulos posteriores, expondremos ahora los aspectos básicos a tener en cuenta para la citada distribución en planta.

Se trata de disponer los procesos y sus operaciones, con sus máquinas, equipos e instalaciones, de forma óptima en la planta de producción, de acuerdo con el espacio disponible y la forma que éste adopta. La distribución en planta incluirá, por supuesto, el almacenaje de los materiales y productos que han de existir en cada fase de los distintos procesos y el recorrido al

moverlos de acuerdo con los mismos, así como los medios para su manipulación y transporte.

Optimizar la distribución en planta supondrá pues una pluralidad de objetivos que parte de la forma en que se implantarán las propias operaciones y la secuencia entre ellas. De acuerdo con ello, éstos podrían ser los objetivos más importantes:

- Establecer la secuencia de operaciones que optimice el rendimientos de los procesos en los aspectos clave: productividad, tiempo de ejecución, stock generado, etc. En principio hay dos tendencias: agrupar las operaciones por su tipo (*funcional* o *talleres*) o por pertenecer a un proceso dado (*flujo* o *cadena*); la primera es la que utiliza en gran medida el management tradicional y la segunda es la propia de las tendencias avanzadas. Éste es un tema que debatiremos a fondo en esta obra.

Junto con estas dos opciones se emplea el layout de *posición fija* en casos excepcionales, en que el producto es muy grande o voluminoso y, por tanto, difícil de mover, en el que todo se mueve hacia él (materiales, herramientas, trabajadores, etc.).

- Minimizar el espacio total ocupado y, a su vez, los transportes, los desplazamientos de personal y otras pérdidas de tiempo, para usar el espacio disponible de la mejor manera posible.
- Minimizar el tiempo de ciclo de la actividad productiva (que más adelante definiremos como el que transcurre desde que se obtiene una unidad de producto acabado hasta que se obtiene la que sigue) para evitar la necesidad de que el producto o los puestos de trabajo se hallen parados innecesariamente.
- Facilitar una buena organización de la planta, de manera que no se produzcan pérdidas inútiles de tiempo, localizaciones no identificadas o errores que siempre acaban teniendo lugar cuando imperan la desorganización y el desorden,
- Facilitar el desarrollo de los procesos de producción, para tratar de alcanzar una circulación lo más ágil y rápida posible y evitar cualquier acumulación de productos, materiales, personas, medios de transporte, etc.

- Minimizar la complejidad de la logística interna de la planta y, con ello, la del manejo de materiales.
- Maximizar la rotación de las existencias o inventarios, que supone que puede operarse con la mínima cantidad de los mismos, que se reponen con frecuencia.
- Facilitar la gestión visual del desarrollo de los procesos y el debido control de la producción.
- Minimizar la inversión necesaria para tener la planta de producción en orden de funcionamiento y cualquiera de los costes generados por la actividad productiva.
- Facilitar al máximo la seguridad y las normas que al respecto se establezcan.
- Facilitar las posibles ampliaciones en el futuro.

1.4. Materiales, productos y su manipulación y transporte

Los materiales que han de utilizarse en los procesos productivos se mantienen en almacenes previos a los procesos (considerados de *materia prima*) o en los propios procesos, al igual que la operación (llamados *almacenes pulmón o buffers*), en cantidades y disposición que dependerá del layout elegido y de la tendencia de management de los procesos empleada; así, como se expondrá con detalle en capítulos posteriores, las tendencias avanzadas tienden a minimizar la cantidad de materiales almacenados y a situarlos con las operaciones de los procesos.

Por lo que se refiere a la forma de manipular y mover los materiales y también el producto obtenido en la producción, a medida que ésta avanza, también dependerá del layout. Entonces, aunque éste es otro aspecto que será tratado debidamente más adelante, con un layout tipo funcional (es decir, en talleres de fabricación), las operaciones con sus máquinas se reúnen por su tipo y no por el proceso que sigue el producto, por lo que éste habrá de desplazarse a distancias más o menos grandes, al reunirse en cantidades más o menos grandes (por ejemplo, en contenedores), para minimizar el número de transportes. Por el contrario, con la implantación en flujo o cadena, las

operaciones de un mismo proceso se hallan cercanas y el producto se mueve unidad a unidad o en lotes muy pequeños.

La manipulación de los materiales y productos en elaboración deben gestionarse de modo que se apoye la minimización del tiempo de ejecución de los procesos que ya constituyó uno de los objetivos del layout, pero al mismo tiempo deben estar exentos de complejidad y actividades inútiles que generen costes asimismo inútiles, motivo por el que, por ejemplo, los materiales se reúnen en contenedores para ahorrar desplazamientos, según se ha expuesto.

La manipulación de materiales y productos en proceso de producción deberá además facilitar dicho proceso y su productividad, la labor de los trabajadores, la flexibilidad de la operativa y, desde luego, la seguridad.

Toda manipulación y movimiento de materiales y productos deberá diseñarse de forma que se cumplan las condiciones a las que nos hemos referido, pero siempre tratando de mejorar cada vez más la eficiencia de los procesos en todos los aspectos posibles. Por ello, hemos de estar permanentemente planteando si puede eliminarse alguna actividad de manipulación y transporte de materiales y, si no, si pueden simplificarse; asimismo, podemos plantearnos si pueden combinarse dos o más de estas actividades en una sola, si pueden reducirse cambiando el orden de ejecución de las mismas, etc.

Otros aspectos a tener en cuenta en la manipulación y movimiento de materiales podrían ser:

- El tamaño de los contenedores, carros u otros elementos en los que se hallan los materiales.
- Si un contenedor u otro elemento utilizado es el mejor medio para manipular y mover un material dado.
- La adecuación de los sistemas de manipulación y transporte se ajusta adecuadamente al layout de la planta.
- Si éstos se pueden combinar con las operaciones del proceso.
- Si ocurren con la frecuencia más ajustada a lo que precisa el proceso.
- Si los materiales están en el lugar y momento correctos.
- La integridad de materiales y productos manipulados y transportados no debe estar en situación de riesgo, así como la de los medios de producción y, por supuesto, la seguridad del personal.

En la manipulación y transporte de materiales hay que tener en cuenta el tipo de materiales que mover (piezas, envasados, granel, etc.), las cantidades por hora y por transporte, el recorrido, diferencias de altura en el mismo, velocidad requerida, frecuencia y, por supuesto, la seguridad. Además, como en todos los elementos del sistema productivo, no pueden olvidarse los aspectos económicos (inversiones, costos y financiación).

1.4.1. Equipos para la manipulación y transporte de materiales

Hay una gran diversidad de equipos para realizar estas funciones, que dependen en buena medida de la actividad concreta que deban realizar, pero también todos los aspectos que hemos desgranado en el epígrafe anterior.

Así, para el transporte con itinerarios variados, lo más corriente son las *carretillas elevadoras motorizadas* con sus horquillas para elevar la carga y depositarla donde convenga, incluido el estibaje en almacenes. A un nivel más modesto, las *traspaletas* manuales con horquillas pueden hacer una función similar, pero de forma manual y con mucha menos carga. Finalmente, *carros* o *carretillas* de diverso diseño pueden transportar distintos tipos de carga.

La carga puede estar contenida en diversos tipos de envase. Para transportar en carretillas elevadoras o traspaletas con horquilla es habitual el uso de *pallets* de madera. Pero igualmente pueden utilizarse diversos tipos de *contenedores* diseñados para ser soportados por las horquillas. Las piezas de pequeño formato y que no corran riesgo de deformarse o romperse por el contacto entre ellas suelen moverse en contenedores. Cuando sí existe este peligro y para mover productos semimontados o montados es más normal utilizar carros compuestos de *estanterías y ruedas* para su desplazamiento.

Asimismo, existen sistemas para desplazar cargas que siempre se muevan sobre la misma trayectoria, sea recta o curvada. Hay una gran diversidad de ellos, tales como las *cintas transportadoras*, *conveyors*, *transportadores de rodillos*, *rampas inclinadas*, *rampas vibrantes* y otros, útiles para mover pequeñas cantidades de materiales o unidades de producto semielaborado. Para cantidades mayores están las *cadenas aéreas* (por ejemplo, de montaje) o las *grúas* o *pórticos*. Y para transportes especiales existen *sistemas neumáticos*, en los que el material se mueva dentro de tuberías por aire a presión.

Finalmente, para trayectos en los que predomina el cambio de altura sobre

el suelo, están los *montacargas*, *rodillos helicoidales*, *elevadores de cangilones*, *toboganes* y otros.

En la figura 1.5 (en la página siguiente) se observan diversos equipos para la manipulación y transporte de materiales, de entre los expuestos en este epígrafe.

1.5. Aspectos relacionados con el *management* en ingeniería de procesos y de planta. *Lean management*

El diseño de procesos, su desarrollo e implantación —las funciones a desarrollar por la ingeniería de procesos y de planta— pueden realizarse con enfoques diversos, que darán lugar a implantaciones muy distintas, de acuerdo con los principios de gestión que persigan. Más concretamente, esta diferencia será muy importante según se actúe de acuerdo con los principios de la gestión tradicional, en particular la *producción en masa* o, contrariamente, se gestione de acuerdo con las tendencias más avanzadas, sobre todo, la conocida como *lean management* (que en el ámbito estrictamente industrial se conoce como *lean manufacturing*).

De hecho ya hemos apuntado alguna de las diferencias en los epígrafes anteriores, como la distribución en planta en flujo en un entorno *lean*, frente a la distribución funcional con enfoque más tradicional.

Las tendencias avanzadas *lean* operan de forma distinta en casi todos los aspectos relacionados con los procesos y, por consiguiente, con la ingeniería de procesos y de plantas, algo que tendremos que ir puntuizando a lo largo de todo el libro, lo que supone que el enfoque del pensamiento de gestión estará presente a lo largo del mismo.

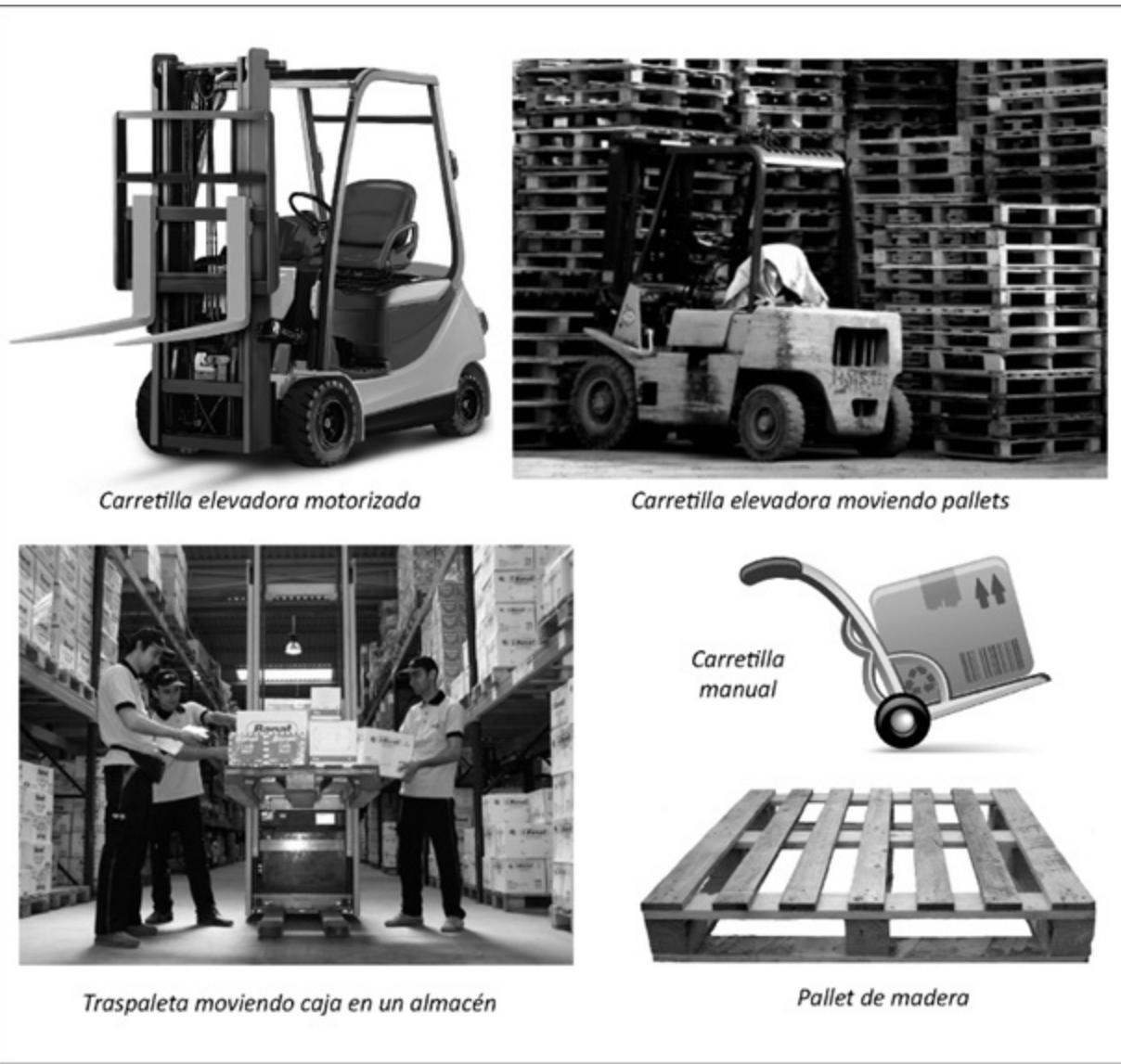


Figura 1.5. Equipos para la manipulación y transporte de materiales.

El *lean management* nació en la segunda mitad del siglo XX y supuso un paso adelante de gran envergadura en todo cuanto afecta al planteo y ejecución de los procesos de producción. Fue desarrollado por la empresa del sector de la automoción Toyota, curiosamente como fruto de la necesidad de obtener un producto competitivo respecto a los colosos americanos del automóvil, pero con muchísimos menos recursos financieros, debido a la situación en que quedó tras la Segunda Guerra Mundial, que perdió Japón. El sistema se centra en¹:

- Producir solo cuando haya una demanda (lo que excluye la

producción en grandes series, es decir, el enfoque *en masa*).

- Llevar a cabo los procesos productivos muy rápidamente y sin que el producto pare en absoluto —es decir, que fluya continuamente—, para recuperar el dinero invertido en el mismo de forma muy rápida (lo que decanta el layout hacia el tipo que hemos denominado *en flujo*).
- Eliminar todo tipo de actividades que no aumenten el valor del producto en proceso —tales como manipularlo y transportarlo de un lugar a otro de la planta— conocidas como *desperdicios*, de modo que se logre eliminar consumos de recursos —y de dinero— y, de paso, se recorte aún más el tiempo de ejecución de los procesos, que denominaremos *lead time* (lo que elimina definitivamente el layout de tipo *funcional*).

Este sistema da mucha importancia al *valor* desde el punto de vista del cliente, comenzando ya en el producto y sus prestaciones, que afectan de lleno a la ingeniería de producto y, como puede comprobarse por los aspectos en que se centra el sistema, a la ingeniería de procesos y de planta. En definitiva, lo que realmente importa para el *lean management* es la eliminación de los múltiples costes y tiempos improductivos que caracterizan los enfoques tradicionales. De ahí su gran eficiencia y competitividad.

Otro de los grandes rasgos que caracterizan la implantación *lean* es la reducción al mínimo de los stocks y existencias y la práctica desaparición de los almacenes como tales, para reducirlas a pequeñas acumulaciones de materiales justo donde se precisan y cuando se precisan, que adoptan una forma que se conoce como *supermercados*, que permiten que los procesos actúen para la demanda inmediata de forma exclusiva. La necesidad de eliminar stocks es consecuencia directa de la necesidad de que el proceso termine en el mínimo tiempo posible: todo producto en stock está parado y ello alarga el tiempo de entrega.

Todo cuanto estamos exponiendo sigue constituyendo un enfoque que condiciona la ingeniería de procesos y la forma en que se traducirá en la planta. Pero hay más: uno de los aspectos clave de la ingeniería de procesos era la elección de la tecnología y las máquinas más adecuadas, que para la implantaciones *lean* se traduce en pequeñas máquinas, simples y exentas de

toda automatización innecesaria. De hecho, con esta forma de gestionar, se habla de *autonomización*, sustentada en el concepto de *jidoka* o *automatización con toque humano*, que implica la utilización de máquinas que, en último término, son gobernadas por el trabajador (no existe pues la *automatización total*) con el fin de adaptar su ritmo efectivo a la demanda y que paran por sí mismas ante cualquier anormalidad, especialmente si aparecen problemas de calidad.

A modo de ejemplo de los importantes cambios en relación con los procesos y su implantación que supuso el advenimiento del sistema de Toyota, reproduzco aquí un relato de Taiichi Ohno, el ingeniero que dirigió el desarrollo del mismo, acerca de cómo lo enfocaron con su sistema²:

«A modo de experimento, distribuí las diferentes máquinas entre la cadena de procesos de fabricación. Éste fue un cambio radical en comparación con el sistema convencional, en el que se fabricaban grandes cantidades de una misma pieza en un proceso que, a continuación, las trasladaba al siguiente proceso.»

«... distribuimos las máquinas en líneas paralelas en forma de L, e intentamos asignar un trabajador al cuidado de tres o cuatro máquinas a lo largo de la línea de fabricación.»

«... la redistribución de las máquinas para establecer un flujo de producción eliminó la pérdida de tiempo en el almacenamiento de piezas.»

«... no hay pérdida más terrible que la del exceso de producción. Todos nos sentimos más seguros cuando tenemos una cantidad considerable en stock. Sin embargo, esta forma de acumulación ya no es práctica. La sociedad industrial debe afrontar el riesgo para proveerse solo de lo que necesita, cuando lo necesita y en la cantidad que necesita.»

En estas pocas frases se destaca la importancia de disponer el layout en flujo, de no reunir piezas para enviarlas conjuntamente a la siguiente operación, de asignar a un trabajador varias máquinas (gracias al layout en flujo), de evitar todo tipo de stock y de no incurrir en un exceso de producción.

En resumen, la gestión *lean* de los procesos, basada en la eliminación de las improductividades propias de las tendencias tradicionales, orienta el diseño y desarrollo de los procesos de forma que se eliminan los costes improductivos en:

- Producción más allá de la demanda real y actual.

- Stocks o inventarios.
- Tiempos perdidos en los puestos de trabajo.
- Bajo rendimiento de las operaciones.
- Transportes innecesarios de materiales y productos en curso.
- Movimientos/actividades innecesarios de los trabajadores.
- Producción de productos defectuosos.

Aspectos, todos ellos, que condicionan fuertemente la ingeniería de procesos y de planta, al enfocarla decididamente a todo tipo de actividades que aporten valor. Así de sencillo (o no...).

En cualquier caso, estas directrices han cambiado la tendencia tradicional a operar en grandes series en busca de las economías de escala, a operar en pequeñas cantidades en un tiempo muy corto, tratando de lograr economías de recursos de todo tipo (eliminando los consumidos en lo que hemos denominado *desperdicios*) y pudiendo así producir rápidamente una gran variedad de producto. La ingeniería de procesos *lean* dota, además, al sistema de una gran flexibilidad, algo de lo que carece en absoluto el enfoque tradicional.

Hemos de advertir, sin embargo, que las nuevas tendencias de gestión han traído nuevos problemas que resolver por la ingeniería de procesos, algunos de ellos realmente complejos. Como la operativa en pequeñas series, que exigen un cambio de preparación previo: este cambio debe realizarse en muy poco tiempo, ya que la producción de la serie es rápida y no puede admitirse que se esté más tiempo preparando el proceso (parado) que produciendo. Sin embargo, hay máquinas o sistemas productivos que exigen una preparación laboriosa y lenta. Para subsanar este problema, la propia Toyota desarrolló las técnicas SMED, mediante las cuales se llega a hacer en menos de diez minutos una preparación que exigía tres o cuatro horas.

Otro detalle importante emanado de estas nuevas tendencias es la necesidad de operar para la demanda y reducir si es preciso el volumen de producción, lo que ha derivado, por un lado, en la exigencia de limitar dicho volumen y, por otro, hacerlo flexible (puesto que la demanda fluctúa). Ello es lo que ha supuesto que la automatización y la robotización, tal y como se entiende en el mundo tradicional, tampoco constituyan un concepto asumible, puesto que, además de ser muy poco adecuados para la producción en pequeñas series,

tienden a lo contrario de lo que hemos exigido, al facilitar los grandes volúmenes de producción en lugar de limitarla, por una parte, y por la inflexibilidad derivada de los ciclos automatizados (lo que no ocurre en el trabajo humano) por otra. Para Toyota, la persona humana es la *máquina* más flexible que existe...

-
1. Existe una amplia bibliografía acerca del lean management, entre ellas un libro del mismo autor que el presente, cuyo título es *Lean management. La gestión competitiva por excelencia*.
 2. Taiichi Ohno: *El sistema de producción de Toyota. Más allá de la producción a gran escala*, Productivity Press.

2

LA INGENIERÍA DE PROCESOS Y LA FUNCIÓN PRODUCTIVA DE LA EMPRESA

La función básica de toda empresa en la sociedad es asumir el papel de producir para el consumo, aunque de forma independiente del mismo, puesto que cuando la producción se independizó del consumo, nació una nueva entidad para hacerse cargo de la misma: la empresa. Para cumplir con este objetivo, la empresa ha de asumir las funciones que siguen:

1. Interpretar al sector consumidor para comprender cuáles son sus necesidades y exigencias, lo que, evidentemente, va a suponer realizar cuantos estudios sean precisos acerca de la demanda de este sector.
2. Organizar el proceso productivo que requerirá el producto o servicio que satisfaga la anterior demanda de los consumidores, para ejecutarlo y dirigirlo correctamente, con la coordinación y control necesarios, a fin de obtener el producto requerido al menor coste y en el plazo más breve posible.
3. El fruto obtenido de la producción efectuada deberá repartirse entre aquellos sujetos que han intervenido en la obtención de dicho producto. Estos son los llamados *factores de la producción*, de los que nos ocuparemos más adelante. Pues bien, es función de la empresa pagar anticipadamente la parte que corresponda a los factores que han

colaborado con ella en la obtención de la producción (normalmente sujeta a pactos previos), independientemente de la remuneración real que el sector consumidor vaya a satisfacer a la empresa por el producto. Así, la empresa adquiere equipamientos, compra materiales y contrata trabajadores antes de llevar a cabo la producción.

4. De la función anterior se deduce que la empresa deberá asumir una nueva función que consistirá en el riesgo inherente a la anticipación de las remuneraciones y en cuantías generalmente independientes de la auténtica valoración que el sector consumidor haga del producto. El riesgo total que asume la empresa es pues doble: a) acertar el producto y el volumen de producción que absorberá el sector consumidor (riesgo técnico); b) valorar la remuneración que el citado sector esté dispuesta a hacer efectiva para este producto (riesgo económico).
5. De todo lo anterior se deduce que la empresa tiene una evidente e importante función de previsión de los deseos del sector consumidor que no se resume solo en la ya anticipada referente a qué productos deseará este sector, sino en qué cantidades y cuál va a ser la remuneración que el citado sector estará dispuesto a efectuar por ellos, así como los cambios de tendencias en las previsiones.

2.1. Actividades funcionales de la empresa en relación con la ingeniería y factores condicionantes

Las funciones que la empresa debe asumir se acometen por medio de las actividades funcionales, que pueden actuar a distintos niveles, de acuerdo con un conjunto de factores y limitaciones que pueden ser internos y externos a la empresa.

Las funciones básicas de la empresa, para las que fueron creadas, son las relacionadas con el producto objeto de la actividad de la empresa y, por tanto, comprenden las relacionadas con la decisión del producto o productos que ofrecer al mercado y todas las actividades que desarrollar a continuación hasta

que puedan ser librados al mismo. Éstas son pues las actividades funcionales esenciales, a las que se añadirán todas aquellas que faciliten que todo pueda llevarse a cabo (marketing, finanzas, administración, etc.). La figura 2.1 representa la secuencia de las actividades funcionales referidas y los límites entre los que pueden de actuar.

Como puede apreciarse, representamos a la empresa por un marco limitado, pero con tendencia a expandirse a medida que le sea posible (flechas que se incluyen en el marco), dentro del cual, y en la medida que la dimensión de este marco lo permite, tienen lugar las actividades funcionales citadas anteriormente y que, en este primer esquema, muy resumido, reducimos a cuatro:

1. Las comprendidas en la *ingeniería de producto*: selección, diseño y desarrollo de los productos objeto de la actividad de la empresa.

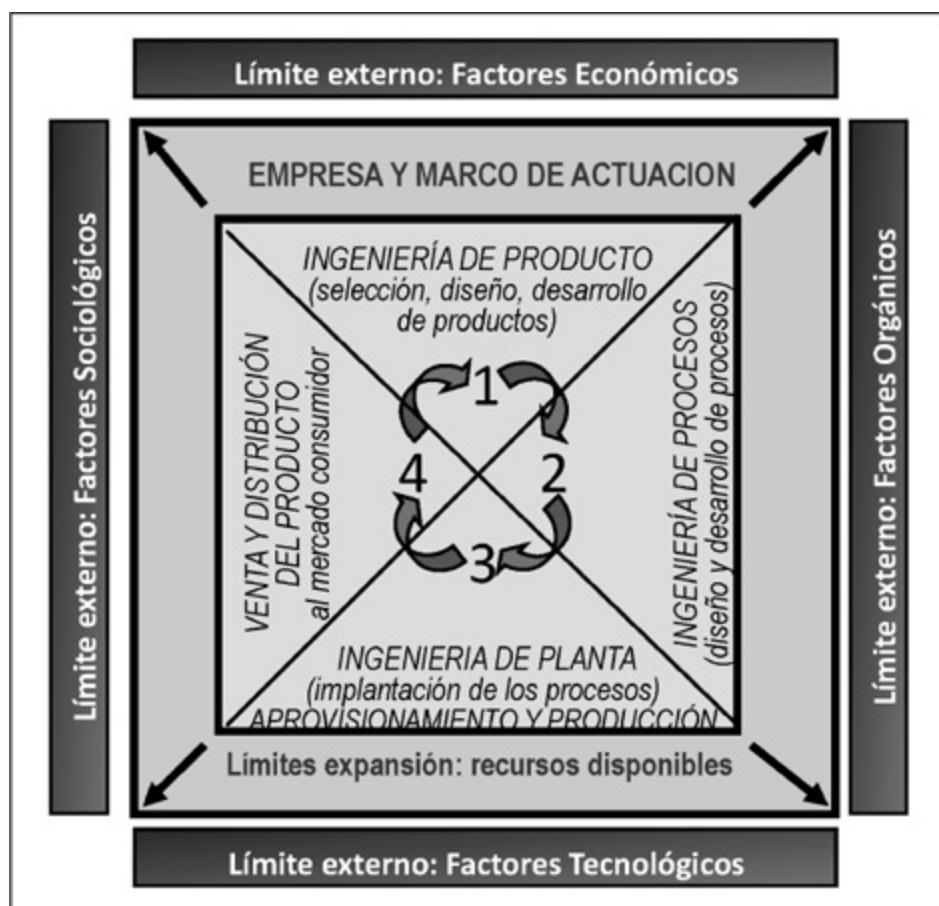


Figura 2.1. Factores y limitaciones.

2. Las comprendidas en la *ingeniería de procesos* y, por tanto, el diseño y desarrollo de los procesos mediante los cuales se podrá llevar a cabo la producción de los productos previamente diseñados.
3. Las comprendidas en la *ingeniería de planta* y, por tanto, la implantación real de los anteriores procesos, para poder llevar a cabo la correspondiente *producción*, tras la adquisición y/o contratación de los factores de la producción que se precisen. En una primera enumeración forzosamente general hablaríamos de recursos materiales, mano de obra y bienes de equipo (maquinaria, instalaciones, etc.) como factores principales.
4. Las que han de facilitar la llegada del producto obtenido al mercado, que comporta las actividades de venta y distribución, siempre vinculadas a los estudios de previsión de comportamiento de dicho mercado. Las preferencias del mismo, en relación con el tipo de producto, características del mismo, volumen de ventas y precio, deben ser analizados para que las actividades funcionales anteriores dediquen sus esfuerzos a aquellos que el mercado demanda. Dado que esto es algo que hay realizar permanentemente para tener una idea cada vez más exacta de las preferencias del mercado, así como los cambios que manifiesta, esta cuarta función debe alimentar de información a la primera de ellas y cerrar así un ciclo que repetir y repetir, con el fin de mejorar las prestaciones de las actividades funcionales que cubren el objetivo de la empresa. Así ha quedado expresado en la figura 2.1 (en la página anterior): cada función lleva a la siguiente mediante una flecha y, la última, lleva de nuevo a la primera con una nueva flecha.

Por otra parte, el marco limitativo del nivel al que se pueden desarrollar tales actividades viene condicionado por las disponibilidades de recursos de la empresa, que, a su vez, están supeditados a los recursos financieros disponibles que determinan la capacidad financiera.

Sin embargo, no son tales recursos los únicos límites a la expansión del nivel de sus actividades funcionales. Existen otros marcos limitativos propiciados por el entorno y generalmente constituidos por factores externos a la propia empresa. Dichos factores limitativos los hemos resumido en cuatro

categorías:

- a) **Factores económicos.** Son los relacionados más directamente con el mercado y los *consumidores*, que tienen una capacidad económica de adquisición determinada y una valoración económica del propio producto, condicionantes éstos muy importantes.
- b) **Factores tecnológicos.** Directamente vinculados a la propia producción y el producto de que se trate, constituyen limitaciones referentes a la tecnología disponible en el entorno en que se desenvuelve la empresa y la capacidad para adquirirla. Los *parques tecnológicos* se han creado, precisamente, para superar esta limitación, en los casos en que la necesidad de tecnología es importante.
- c) **Factores orgánicos.** Estos factores se refieren al entorno administrativo y legal en el que se desenvuelve la empresa (organismos), y van desde la propia legalización de la actividad productiva y comercial de la misma hasta la forma en que ésta ha de ser desenvuelta, pasando por las facilidades o dificultades que establezca la sociedad de forma directa o por medio de reglamentaciones.
- d) **Factores sociológicos.** La sociedad en la que la empresa desenvuelve su actividad rodea ésta con un cúmulo de circunstancias, algunas de las cuales favorecen y otras desfavorecen la producción, pero en conjunto constituyen un factor limitativo, integrado por el clima social dentro y fuera de la empresa y muy influido por condicionantes culturales, étnicos, motivacionales e incluso climatológicos, que influyen no solo en las posibilidades de llevar a cabo correctamente la producción y su rendimiento, sino también de venderla al consumidor, que puede tener unas preferencias o propensión al gasto especiales.

2.2. La producción. Procesos y operaciones

Nos referiremos a la **producción** como una actividad económica de la empresa, cuyo objetivo es la obtención de uno o más **productos o servicios**

(según el tipo de empresa y su producción), que satisfagan las necesidades de los **consumidores**, es decir, a quienes pueda interesar la adquisición de dicho bien o servicio.

La producción se lleva a cabo por medio de la ejecución de un conjunto de *operaciones* integradas en *procesos*. Por este motivo, a la dirección de la producción se la denomina en muchas ocasiones dirección de **operaciones**; es corriente referirse a las operaciones como a la actividad propia de la producción.

La producción es, básicamente, una actividad económica. Cualquier *actividad* que proporcione un **valor**, susceptible de cubrir necesidades manifestadas por los posibles consumidores, se considera actividad de producir y, por tanto, justifica la existencia misma de la empresa. La creación de bienes, bien sea por extracción a partir de los recursos naturales o por manufactura industrial y la prestación de servicios de todo tipo, incluyendo actividades como el transporte, comercialización, espectáculos, etc., serán actividades de producción.

La producción se lleva a cabo en un *sistema productivo*, compuesto por los elementos que ilustra en la figura 2.2, es decir:

- Los *materiales y productos* adquiridos para efectuar la producción
- Los *factores o inputs* de la producción, elementos con cuya aportación puede llevarse a cabo la actividad productiva (trabajo, equipos, recursos y organización).



Figura 2.2. Elementos de un sistema productivo.

- El *proceso* de producción, elemento central del sistema productivo, constituido por un conjunto de actividades coordinadas que suponen la ejecución *física* de la producción. Estas actividades incluirán las *operaciones* propias del proceso a las que nos hemos referido anteriormente, junto con otras actividades de soporte a las mismas.

De dicho proceso se obtendrá el *producto* objeto de la producción, sea bien o servicio, que deberá satisfacer al máximo las necesidades de los consumidores.

Si el proceso es el elemento central de la producción y el producto el resultado de la misma, el objetivo final de la citada producción es su *valor añadido*, como resultado de la diferencia entre el valor final del producto obtenido y el valor inicial del conjunto de materiales y productos procesados. El valor final lo determina el consumidor a través del precio de venta que paga por el producto; por el contrario, el valor inicial de los recursos consumidos en la producción está en manos de los responsables del sistema productivo, que en realidad actúan como consumidores (compran materiales, contratan personas, adquieren equipamientos, etc.). La mejora de valor añadido, objetivo principal de la producción, se obtendrá, pues, por aumento del valor final o reducción del inicial.

2.3. Competitividad de la producción y estrategias en ingeniería de procesos y plantas

El diseño y desarrollo de producto y procesos —actividades propias de la ingeniería de unos y otros— debería llevarse a cabo de forma que se optimicen simultáneamente calidad, tiempo, coste y productividad, que, en la medida que fuera así, se alcanzaría un elevado nivel de **competitividad**.

En la práctica, el sistema productivo de las empresas no está capacitado para ofrecer niveles elevados de calidad, de rapidez y de productividad al mismo tiempo; normalmente se hallan *especializadas* en alguno de estos aspectos mejor

que otros; la combinación de niveles de temas relacionados con la competitividad que puede ofrecer la producción de una empresa es lo que se conoce como *trade-off* y, en la medida en que se apoye en uno u otro aspecto de la competitividad, la que le proporcione mayor *ventaja competitiva* establecerá su **estrategia competitiva**.

Veamos cuáles pueden ser dichas estrategias y, para distinguirlas mejor, concluiremos cada una con un ejemplo referido siempre a un mismo tipo de proceso: la fabricación y servicio al cliente de equipos informáticos:

- **Calidad-nivel de prestaciones.** Si el sistema productivo se decanta por la calidad y elevadas prestaciones será preciso que la empresa y su ingeniería de productos y procesos se hallen capacitadas para ello, con una buena imagen de marca, prestigio y los recursos necesarios.

Un caso del sector de la informática se daría especializándose en equipos muy fiables, producidos en una planta con procesos asimismo fiables, que ofrecen altas prestaciones (tales como una interface gráfica de muy alta definición para diseño), que podrán ser competitivos aunque sean más caros que los de la gama media del sector.

- **Funcionalidad-coste.** El producto a diseñar y desarrollar puede llevarse a cabo pensando exclusivamente en cubrir una función específica al mínimo coste y la máxima productividad. El coste determinará el mercado accesible y la empresa habrá de tener la máxima ventaja competitiva en este aspecto.

En el sector de la informática, este es el caso de los llamados *clónicos*, ordenadores con prestaciones básicas, de marcas que no son conocidas o no tienen un prestigio reconocido, pero que cumplen con el estándar de los llamados *compatibles* y su coste es bajo o muy bajo. Los procesos productivos estarán dotados de equipos mucho más convencionales.

- **Diferenciación.** La estrategia consiste en distinguir el producto propio del que ofrecen los competidores, comunicándole algún elemento diferenciador, de forma que pueda tener algunas de las ventajas de la competencia monopolística.

Son ejemplos de este tipo de estrategia los paquetes de programas informáticos desarrollados para su aplicación en ámbitos profesionales específicos, tales como la arquitectura, gestión integral de la empresa (los conocidos ERP) o los simuladores de procesos de producción. En estos casos, la estrategia consiste en buscar *nichos de mercado* porque se refiere a necesidades de aplicaciones informáticas concretas, que no estén debidamente cubiertos.

- **Innovación.** Esta estrategia puede ser ofrecida por las empresas que están capacitadas para desarrollar nuevas variantes de producto o incorporar a los mismos características innovadoras; un buen Departamento I+D sería muy determinante para estar en condiciones de operar con este tipo de estrategia. La innovación, como cualquier otra estrategia, lo será en tanto en cuanto se mantenga con el tiempo, ya que no se trata solamente de tener un equipo innovador que al cabo de unos meses otras empresas ya lo habrán desarrollado también; muy al contrario, se debe continuar en la línea de ir creando nuevos desarrollos continuamente.

En el caso de los equipos informáticos, la estrategia de innovación es, por ejemplo, la que se aplicaría en aquellas empresas que ofrecieran equipamientos con características innovadoras fruto de una investigación continuada; la innovación, por supuesto, puede residir en técnicas de producción o equipamientos productivos novedosos. Así, por ejemplo, un caso concreto de estrategia innovadora continuada puede decirse que ha sido, durante mucho tiempo, el de Hewlett Packard con sus impresoras Ink Jet y Láser, que siempre lanzaban una novedad más antes de que los competidores pudieran imitar la anterior.

- **Fiabilidad.** La fiabilidad es una variante de la calidad, que consiste en garantizar unas prestaciones sin fallo o problema alguno.

Se trata de aquellos paquetes de *software* equipados con sistemas de protección, tales como ficheros de seguridad que se graban cada pocos minutos, que eviten que se pierdan los trabajos ante un corte de fluido eléctrico o algún otro problema del equipo; ofrecer fiabilidad en el funcionamiento tanto en *hardware* como en *software* es una buena forma de atraer clientes.

- **Tiempo.** El tiempo es el tercero de los grandes componentes de la competitividad (junto con la calidad y el coste) y, en ocasiones, se convierte en la estrategia adoptada, cuando se trata de cubrir con rapidez una actividad productiva, aun a costa de otros aspectos, a sabiendas de que los consumidores lo valorarán positivamente

En el caso de los equipos informáticos, existen ciertos productos cuya existencia e introducción en el mercado dependen de un ahorro de tiempo que comportan y la correspondiente mejora en la comodidad; como ejemplo, los productos relacionados con el acceso y operativa en redes internet o intranet, en tiempos progresivamente menores y a puntos cada vez más remotos, altamente valorados por la rapidez con que operan.

- **Flexibilidad.** Esta estrategia está basada en ofrecer al cliente el producto con las características que más se ajusten a sus necesidades,

lo que supone disponer de una gran variedad de modalidades y características de productos y la posibilidad de personalizarlos.

Como ejemplo de esta estrategia podemos citar la producción de paquetes informáticos que puedan funcionar en entornos distintos, como por ejemplo un procesador de textos que pueda operar en Windows y también en Mac, o los equipos que pueden cubrir muy distintas funciones a la vez, tales como la impresora, que es además un escáner y una fotocopiadora.

- **Servicio.** En la actualidad, el servicio resulta de la mayor importancia para cualquier actividad donde haya un cliente, y el nivel a que se presta el mismo es determinante y clave para que el cliente se decida. Es frecuente que operen con una estrategia basada en el servicio aquellos sistemas productivos que ofrecen productos que no destacan frente a sus competidores (por ejemplo, los denominados *commodity*), que vienen acompañados de un servicio al cliente de muy alto nivel.

Es el caso de un distribuidor de equipos informáticos estándar, que, debido a la rápida obsolescencia que presentan estos equipos y las caídas constantes de precios que suelen padecer, no obtenga beneficios con las ventas de equipos y le resulte más fácil alcanzarlos con un buen y rápido servicio de asistencia a los clientes.

De lo expuesto podemos concluir que las empresas llevan a cabo actividades de producción mediante las cuales suministran bienes y servicios a sus clientes, con el objetivo de obtener el máximo valor añadido como fruto de su actividad productiva, para lo que tratan de optimizar simultáneamente los aspectos que eleven al máximo su competitividad mediante las estrategias adecuadas.

2.4. La producción, su organización y gestión

De acuerdo con lo expuesto hasta el momento, no es exagerado decir que el rendimiento y la competitividad de la empresa depende de la actividad de su sistema productivo, ya que, en efecto, según ya ha sido expuesto, el *valor añadido*, objetivo básico de toda empresa, se genera inicialmente en el sistema productivo, y todo aumento del mismo redundará necesariamente en una mayor *competitividad* para la empresa.

Pero ¿qué actividades se desarrollan en un sistema productivo y cómo contribuyen a la mejora del valor añadido y la competitividad? Las actividades de un sistema productivo están constituidas por las *operaciones*, es decir, las *actividades* conducentes a obtener el producto, sea éste un bien industrial, en cuyo caso la actividad de producción se llama *fabricación*, o sea un servicio; estas actividades, a su vez, se llevarán a cabo formando parte de los *procesos*.

En resumen, la producción consistirá en ejecutar los procesos productivos correspondientes, integrados por actividades. Por tanto, la gestión de la producción implicará a su vez gestionar adecuadamente las *operaciones*; por ello, con frecuencia se identifican ambas cosas.

Sin embargo, las operaciones son tan solo uno de los tipos de actividades efectuadas en los sistemas productivos, y pueden ser de dos tipos:

- *Actividades que aportan valor añadido al producto*, que son del tipo que denominamos *operaciones*, aunque no todas éstas aportan valor (por ejemplo, no lo hacen las preparaciones o manipulaciones).
- *Actividades que no aportan valor añadido al producto*; serán actividades de soporte a las operaciones de los procesos, tales como transportes, almacenamientos y actividades de control.

Todo ello supone que los sistemas productivos deben desarrollarse —desde la ingeniería de procesos— e implantarse —desde la ingeniería de planta— de forma que las máquinas, equipos e instalaciones operen con el mínimo consumo de recursos de todo tipo y se hallen dispuestas de manera que se eviten al máximo los desplazamientos largos de materiales y productos, que generan transportes, así como también movimiento de los trabajadores. Los métodos de trabajo deben evitar pérdidas de tiempo y recursos inútiles y asegurar que los procesos se lleven a cabo de forma correcta, para asegurar así la calidad requerida. En cualquier caso, debe quedar clara la conveniencia de mantener la distinción entre actividades en general y operaciones, que son un tipo concreto de ellas, las únicas que pueden aportar valor añadido.

La importancia de las actividades desarrolladas en un sistema productivo, como generadores de valor añadido, ha permitido que, en la actualidad, las magnitudes que controlan la gestión de la producción y, por tanto, según acabamos de ver, la gestión de las *operaciones*, es decir, los **indicadores**

operativos, hayan alcanzado una importancia pareja a los de carácter financiero, para cualquier diagnóstico acerca de la estructura y resultados de la empresa, así como en el establecimiento de la estrategia de la misma.

La eficacia de un sistema productivo dependerá de que cada uno de los aspectos relacionados con él sea gestionado adecuadamente; en especial conviene tener en cuenta:

1. **Materiales:** determinación de la clase, calidad, costos y sobre todo la cantidad, de acuerdo con los planes de producción. El proveedor o proveedores de los materiales también constituye un aspecto a tener en cuenta de gran importancia para la eficacia del sistema productivo. La calidad de los materiales debe estar en consonancia con el producto a fabricar y, por supuesto, con la estrategia adoptada por el sistema productivo (sobre todo la enfocada a la calidad o el coste). Otro elemento clave para los materiales es el plazo de entrega de éstos y su grado de cumplimiento. Si éste es muy controlable y ajustado a las necesidades del sistema de producción, el volumen de materiales solicitados puede ser el realmente necesario en cada período; de lo contrario se precisarán cantidades adicionales, en forma de stocks de seguridad y/o adquirirlos cuando hay disponibilidad de estos materiales y no cuando se precisan.
2. **Maquinaria, instalaciones y elementos de capital productivo:** deberán ser las adecuadas al proceso elegido y a la calidad requerida y, también, a la precisión que exigen los procesos, lo que, de nuevo, tiene relación con la estrategia del sistema productivo (especialmente para las de calidad, fiabilidad, innovación y especialización). Además deberá organizarse el conjunto de procesos, de forma que cada equipo productivo esté disponible cuando se precisa y sea utilizado al máximo nivel de ocupación posible. Evidentemente, será preciso que los materiales o productos en proceso de elaboración (es decir, *semielaborados*) lleguen a los procesos correspondientes en las cantidades y momentos adecuados.
3. **Mano de obra:** la operativa de la misma está íntimamente vinculada con el resto de los elementos del sistema productivo. Así, la preparación y coordinación de los materiales que deben llegar a cada

máquina o equipo de producción y los tiempos de producción en los mismos estarán relacionados con el factor humano, la formación y capacitación y, en definitiva, con la productividad y, con ello, condicionarán el rendimiento de todo el sistema productivo.

Por su parte, la complejidad de la organización de un sistema productivo y, por tanto, de la labor del departamento responsable de su gestión estará en relación con un conjunto de aspectos. En efecto, las tareas repetitivas, la baja complejidad y variedad de éstas, así como de las máquinas o equipos precisos y la no necesidad de frecuente readaptación de éstas a tareas diversas y cualquier factor que facilite la coordinación de las tareas y la disponibilidad de medios y materiales en el lugar y momento oportunos redundará en una reducción de la complejidad necesaria en lo que a la organización de la producción se refiere.

Por otra parte, la organización del sistema productivo, es decir, el Departamento de Ingeniería de Procesos y la actividad desplegada por el mismo responden a cuatro principios básicos:

1. *Normalización*. Consistente en adaptar los materiales, productos y procesos a normas preestablecidas, exigidas o no, cuya vigencia sea lo más universal posible.
2. *Racionalización*. A aplicar en el diseño de productos y procesos productivos, siguiendo un adecuado análisis ordenado y científico para cada uno de los aspectos que comportan los mismos.
3. *Simplificación*. A aplicar en el diseño y variedades del producto, así como en las tareas que conforman el proceso de producción, siempre de la mano de la adecuada racionalización, a la que nos hemos referido en el principio anterior.
4. *Especialización* y descomposición en componentes del producto y tareas elementales del proceso productivo, que sean sencillas, fáciles de implementar, y cuya ejecución y organización resulte de la mayor sencillez posible.

2.4.1. Tareas que desarrollar en un sistema productivo: aspectos relacionados con la ingeniería de procesos

El *sistema productivo* adecuado será aquel que pueda llevar a cabo la producción, de forma que se cumplan los objetivos fijados: obtención del producto o servicio deseado, cantidad y ritmo de producción planificados, tiempo de proceso y coste minimizados y máxima ocupación de los medios de producción.

El conjunto de tareas que llevar a cabo en un sistema productivo, con la intervención directa de la ingeniería de procesos, ha sido ya expuesto en el capítulo anterior. Recapitularemos ahora las tareas directamente relacionadas con la producción propiamente dicha, con un mayor grado de detalle:

1. *Previsión de la demanda*: se obtiene por medio de los sistemas elaborados a tal efecto (utilización de series temporales, medias móviles, alisado exponencial, etc.). Esta información se integrará habitualmente en un *Plan Maestro de Producción*, con las cantidades a producir de cada producto que puede obtenerse en el sistema productivo.
2. *Planificación de la capacidad*: se refiere a la previsión de los medios o factores de la producción necesarios para cubrir la producción de un volumen dado de producto por unidad de tiempo. Por tanto, la adecuada planificación de la capacidad de producción exige dimensionar las inversiones, así como la plantilla.
3. *Diseño y desarrollo de procesos y su distribución en planta*. La capacidad que precisará el sistema productivo según la evaluación anterior deberá dar paso a la planta donde se llevará a cabo la producción, distribuida de forma que ésta pueda efectuarse de manera correcta, pero en un tiempo y con un coste mínimos.
4. *Implantación de los procesos de acuerdo con los métodos de trabajo más eficaces*, para que estos procesos y sus actividades y, por tanto, las operaciones del sistema productivo se desarrolle de forma que se alcance el máximo valor añadido con el mínimo consumo de recursos; ello supondrá minimizar la presencia de actividades que no añaden valor al producto (y que llamaremos *desperdicios*).
5. *Planificación de la producción*: referida a las cantidades logradas en el sistema productivo de los productos y componentes. Las cantidades de productos se obtendrán del Plan Maestro de Producción, a partir

- de la previsión de ventas o de pedidos en firme.
6. *Gestión de los materiales y existencias:* llevará al conocimiento de las cantidades disponibles de cada material utilizado en el sistema productivo, de acuerdo con la planificación de la producción. Los modelos necesarios para ello pueden basarse en las previsiones de producción (gestión de materiales) o en la disposición de existencias en almacén, que optimizan el nivel de stocks conjuntamente con el nivel ocupacional. Deberá existir un especial cuidado con la gestión de las existencias de materiales interdependientes (conjuntos que integran el producto final, subconjuntos en que pueden dividirse tales conjuntos, partes de los subconjuntos, etc.), ya que para éstos puede preverse su adquisición justo cuando se precisan y no antes.
 7. *Programación y control de operaciones*, que a su vez implicará:
 8. Determinar las necesidades de recursos productivos y su disponibilidad.
 9. Determinar las necesidades de personal y, en su caso, de subcontratación y otros recursos.
 10. Establecer la secuencia de lanzamiento de las órdenes de producción.
 11. *Integración de las actividades de suministro de materiales y de producción, junto con la distribución del producto acabado*, de forma que el conjunto de toda esta cadena de actividades tenga la necesaria fluidez y flexibilidad para suministrar el producto adecuado a cada cliente, al menor costo y con la máxima rapidez. La *logística integral* se ocupa de este aspecto de la gestión.
 12. *Gestión y control de la calidad y mantenimiento adecuados* que permitan que se obtengan productos correctos (calidad) utilizando medios productivos eficaces (mantenimiento), de forma que el sistema productivo se ajuste a un modelo de *cero defectos* y *cero averías* (además de los *cero desperdicios* de la etapa cuatro).

2.4.2. Tareas que desarrollar en un sistema productivo: aspectos relacionados con la ingeniería de productos

Finalmente, vamos a ocuparnos del producto que se obtiene en un sistema productivo, en relación con el desarrollo de su producción.

El producto debe ser seleccionado, diseñado y desarrollado en el ámbito de la ingeniería de producto, y éstas son las funciones que se deben desplegar en dicho ámbito, con la ayuda de técnicas específicas, entre las que destaca el llamado *análisis de valor* y, por supuesto, la estrategia adoptada para el sistema productivo (calidad, coste, fiabilidad, diferenciación, etc.). En el desarrollo de estas tareas, sin embargo, tienen gran influencia una serie de factores, entre los que destacaremos:

1. El *ciclo de vida del producto*. La fase del ciclo vital en que se encuentre el producto será de gran importancia para determinar muchos aspectos que conciernen al mismo y al sistema productivo: volumen de producción, variedad de modelos, coste asumible, nivel de innovación, etc.
Evidentemente influye en las decisiones que tomar, ya que, por ejemplo, en las primeras etapas del ciclo de vida del producto no tiene sentido especializarse en alta productividad-bajo coste y sí, en cambio, en la innovación. El volumen de producción será una característica fundamental relacionada con el ciclo de vida, ya que el mismo se verá aumentado especialmente a partir de la etapa de madurez.
2. Las decisiones acerca de la estructura del sistema productivo, que dividiremos en dos grandes grupos:
 - a) *Infraestructura* (decisiones conocidas como de *software*):
 - Organización
 - Productos y su desarrollo
 - Recursos humanos
 - Sistemas de planificación y control
 - b) *Superestructura* (decisiones conocidas como de *hardware*):
 - Capacidad de producción a implantar (dimensión)
 - Ubicación del sistema (localización)
 - Proceso de producción a elegir
 - Medios físicos (planta, equipos, etc.)
 - Sistemas de aprovisionamiento
 - Sistemas de distribución

Son varios, pues, los factores que debemos tener en cuenta al definir la estrategia de producto y su sistema de producción, por lo que la coherencia y la debida coordinación serán importantes al tomar decisiones.

2.5. Procesos de producción. Características y análisis

La actividad productiva se plasma en un proceso sujeto a una organización y planificación, y al que se aplicarán los medios y recursos adecuados, todo ello bajo la responsabilidad de la ingeniería de procesos.

Pero ¿a qué llamaremos exactamente proceso?

*Un proceso está constituido por un **conjunto de actividades coordinadas** para efectuar la producción de un producto o servicio con la determinación correcta de medios, de acuerdo con los métodos más adecuados, de manera que se opere con la máxima productividad y el producto resulte de la máxima calidad y el mínimo tiempo y coste.*

Para lograr estos objetivos, será necesario llevar a cabo un completo estudio de la forma de implantar el proceso productivo de acuerdo con la metodología comúnmente aceptada, basada en la subdivisión o la descomposición de dicho proceso en sus operaciones, componentes y movimientos concomitantes, de modo que cada operación y cada manipulación de material puedan estudiarse aisladamente y averiguar su necesidad y su eficacia en el proceso.

En la elección y diseño del proceso siempre hay una proporción mayor o menor de condicionantes. Éstos pueden ser de carácter interno, que pueden proceder, por ejemplo, de la existencia de equipamientos ya instalados para otras líneas de producción de productos similares o no, o incluso correspondientes a modelos del mismo producto en su versión anterior; los condicionantes internos además pueden referirse a aspectos no relacionados directamente con la producción, como limitaciones financieras, tecnológicas, etc.

Por otra parte, pueden darse también condicionantes externos que nos lleven a elegir entre los sistemas disponibles para la empresa para realizar cada tipo de producción, que se deberá hacer en función de la consecución de los objetivos fundamentales de todo el proceso de producción, tales como cantidad, calidad, coste, prestaciones y tiempo preciso. Además, también

podremos hablar de otros tipos de condicionantes como los que imponen las limitaciones de diseño y características del producto, de los mercados y la comercialización, de organismos, etc.

Uno de los condicionantes más determinantes es, sin duda, el mayor o menor aprovechamiento de la tecnología implantada en el sistema productivo y las instalaciones preexistentes. Su aprovechamiento se llevará a cabo teniendo en cuenta los siguientes factores:

- ✓ Adaptación al proceso que se va a implantar y, en consecuencia, que permita lograr la productividad, calidad, coste y tiempo de ejecución requeridos.
- ✓ Grado de saturación de su utilización actual.
- ✓ Experiencia acumulada acerca de las técnicas de producción utilizadas en las instalaciones existentes.

2.5.1. Representación y análisis de los procesos y sus actividades

Para su estudio, actividad por actividad, los procesos deberán representarse de forma que muestren sus actividades para su análisis individualizado. La representación de los procesos con tal finalidad puede llevarse a cabo de dos formas: una analítica o descriptiva y otra gráfica:

1) Representación analítica

Cualquier proceso puede representarse, descompuesto en sus actividades, de forma analítica, a partir de un cuadro de doble entrada con las actividades en filas y los campos de información en columnas. La figura 2.3 muestra una representación de este tipo de proceso ejemplo de producción industrial de molinillos de café.

En la citada figura 2.3 se aprecian, para cada actividad, informaciones de tipo cuantitativo y también cualitativo. El tiempo es la magnitud con la que se medirán las actividades y su eficacia en la organización y gestión de los correspondientes sistemas productivos. Cada actividad puede llevarse a cabo varias veces (lo que se indica en la columna de frecuencia), por lo que los tiempos unitarios de persona y de máquina de la tabla no expresan los tiempos

reales del proceso, que habrá que multiplicar por la frecuencia. En lo que al tiempo total de proceso se refiere, se determinará multiplicando el tiempo de cada actividad por su frecuencia y sumando los resultados.

Producto: Molinillo café	Actividad	Materiales	Frecuencia	Tiempo (segundos) Persona | Máquina	Método	
	Insertar motor en carcasa base	Carcasa, motor, silentblocs y tornillería	1	90 | 90	Utilaje	
	Insertar tarjeta con circuito impreso	Tarjeta electrónica y clips sujeción	1	45 | ---	Manual	
	Insertar cableado y realizar conexionado	Cables, interruptor, juntas y conectores	3	25 | ---	Manual	
Lote producción: 1000 Uds./día	Montar carcasa externa y tapa	Carcasa, juntas, tapa y tornillería	1	10 | 30	Automático	
Tiempo total segundos (incl. frecuencia) »				220 | 120		

Figura 2.3. Análisis de procesos por descomposición en actividades.

El planteamiento atendiendo a tiempos de persona-tiempos de máquina debería considerarse un planteamiento de tiempos con intervención de la persona- tiempos sin intervención de la persona. En efecto, tanto si se trata de procesos industriales como si son de cualquier otro tipo, el tiempo de máquina es aquel que debe transcurrir necesariamente con o sin máquina de por medio.

La representación analítica de la mencionada figura puede utilizarse para confirmar que los procesos tienen actividades que aportan valor al producto y otras que no lo hacen. Éste es un aspecto clave en cuanto a las responsabilidades de gran importancia en el trabajo desarrollado por la ingeniería de procesos, que debe seleccionar dichos procesos y sus actividades de manera que se minimicen aquellas que no aportan valor al producto (inspecciones de calidad, operaciones redundantes, tiempos de preparación excesivos, etc.).

En el cuadro de la figura 2.3 se encuentran tan solo las que llamaremos *operaciones* del proceso, actividades que añaden valor al producto. Sin embargo, en una descomposición del proceso a nivel de sus actividades elementales, la representación analítica mostraría la existencia de un buen número de ellas que no aportan valor alguno para el cliente del proceso. Sería el caso de actividades tales como los transportes de producto de una máquina a otra, manipulaciones

de materiales, esperas dentro de contenedores, etc., que de ninguna manera mejoran característica alguna que pueda valorarse en el producto (o, si se prefiere, el cliente no *pagaría* por ellas, en clara demostración de que no aportan valor al producto). En la práctica, en las organizaciones más tradicionales es frecuente que haya bastantes más actividades que no aporten valor que las que sí lo hacen, como veremos seguidamente.

La figura 2.4 presenta la tabla anterior, en la que se ha descompuesto el proceso en actividades elementales en lo que se refiere a las existentes entre la inserción del motor eléctrico y la inserción de la tarjeta de circuito impreso, de acuerdo con la forma de proceder de un entorno muy convencional (un taller de fabricación corriente).

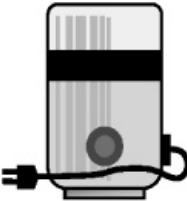
Producto: Molinillo café	Actividad	Materiales	Frecuencia	Tiempo (segundos) Persona | Máquina	Método
	Insertar motor en carcasa base	Carcasa, motor, silentblocs y tornillería	1	90 | 90	Utilaje
	Control calidad de la inserción		1	25 | ---	
	Colocación de carcasa con motor en carro		1	8 | ---	
	Espera hasta que el carro esté completo		99	90 + 25 + 8 | 90	
	Transporte del carro a área inserción tarjeta		1	100 | ---	
	Tomar carcasa con motor y colocar en mesa		1	20 | ---	
	Tomar tarjeta de circuito de un contenedor		1	15 | ---	
Lote producción: 1000 Uds./día	Insertar tarjeta con circuito impreso	Tarjeta electrónica y clips sujeción	1	45 | ---	Manual
	Insertar cableado y realizar conexiónado	Cables, interruptor, juntas y conectores	3	25 | ---	Manual
	Montar carcasa externa y tapa	Carcasa, juntas, tapa y tornillería	1	10 | 30	Automático
Tiempo total segundos (incl. frecuencia) »				12.565 | 9.000	

Figura 2.4. Descomposición de un proceso en operaciones y otras actividades.

Efectivamente, tras la inserción del motor, hemos considerado otras seis actividades hasta poder realizar la inserción del circuito impreso, todas ellas del tipo que no aportan valor al producto... ¡pero todas necesarias! Como se

comprueba en la tabla de la citada figura, estas actividades consumen un tiempo, sobre todo las esperas, que es el de elaborar cada unidad, multiplicado por el número de unidades restantes del lote a procesar mientras ella espera (99 unidades de un lote de 100).

Así pues, las actividades intercaladas generan un coste, pero no aportan nada al producto. El *lean management* denomina a estas actividades *waste* o *desperdicio*, y con razón. Además y de la misma forma que hemos procedido con las actividades que siguen a la inserción del motor, podríamos encontrar listados similares de actividades sin valor añadido alguno para las otras tres operaciones del proceso completo.

Haciendo esto, el proceso podría llegar a tener cerca de treinta actividades, de las que solo cuatro, las que teníamos en la figura 2.3, aportan valor al producto, es decir, ¡tan solo un 13 % de las actividades del proceso! El resto es desperdicio...

No es extraño, pues, que la eficiencia con que se gestionan los procesos esté viendo, día a día, reconocida su importancia y su influencia en el futuro económico no solo de las empresas, sino también de los países. En un estudio realizado sobre las empresas norteamericanas que durante la crisis se vieron obligadas a cerrar, se descubrió que una de las principales causas de ello fue el deficiente sistema de utilización de los medios productivos y, en general, la mala planificación que venían realizando, lo que contrasta con el espectacular ascenso de las empresas *lean*.

2) *Representación de los procesos por medio de diagramas*

En la implantación de procesos de producción, al determinar el tipo de distribución que más puede ajustarse a los mismos, un factor muy importante es la circulación de materiales en el interior de la planta. Dicho flujo determina el coste de su tratamiento, la cantidad empleada en el proceso, el espacio que dicho proceso ocupa y la duración del tiempo total de producción. Con mucha frecuencia, el diseño de la distribución en planta se inicia con el sistema de circulación de los materiales.

La representación de los procesos por medio de diagramas permite, además de la descomposición en sus actividades realizada en la representación analítica, visualizar el recorrido de los materiales a lo largo del proceso productivo y,

con ello, analizar la secuencia de actividades del proceso para hacerla más eficiente. Uno de los instrumentos de gran interés para ello son los *diagramas de proceso*, que constituyen una representación gráfica relativa a un proceso sea del tipo que sea.

Otro punto de gran interés de los diagramas de proceso es la utilización de símbolos especiales para representar las actividades que se realizan durante los procesos productivos. Dichos signos, propuestos por Taylor en su famoso artículo «Shop management» ('Administración del taller'), fueron estandarizados por la American Society of Mechanical Engineers (A.S.M.E.), y en la actualidad se hallan homologados por la Oficina Internacional del Trabajo (O.I.T.). Su interés radica en que se catalogan todas las actividades que pueden llevarse a cabo en los procesos en solo cinco tipos, cada uno de los cuales tiene asociado un símbolo estandarizado.

La figura 2.5 muestra los cinco tipos de actividades de los procesos y sus símbolos. Las actividades son: *operación*, *inspección*, *transporte*, *espera* y *almacenaje*, de entre los que, como ya se dijo, solo las operaciones son las únicas actividades que pueden añadir valor al producto (y no siempre lo hacen).

Además de estos cinco tipos de actividades, pueden utilizarse *actividades combinadas* que, como su denominación indica, se obtienen por combinación entre las cinco básicas, y lo mismo ocurre con los símbolos que las representan. Así, por ejemplo, una de las más utilizadas es la operación-inspección (símbolo ), que representa una actividad tipo operación que, mientras se realiza, se lleva a cabo una inspección simultáneamente.

Con estos símbolos puede realizarse una representación gráfica de los procesos con sus actividades. En la misma figura 2.5 aparece un diagrama de representación de un proceso, con la utilización de los símbolos correspondientes, a los cuales ya hemos hecho referencia.

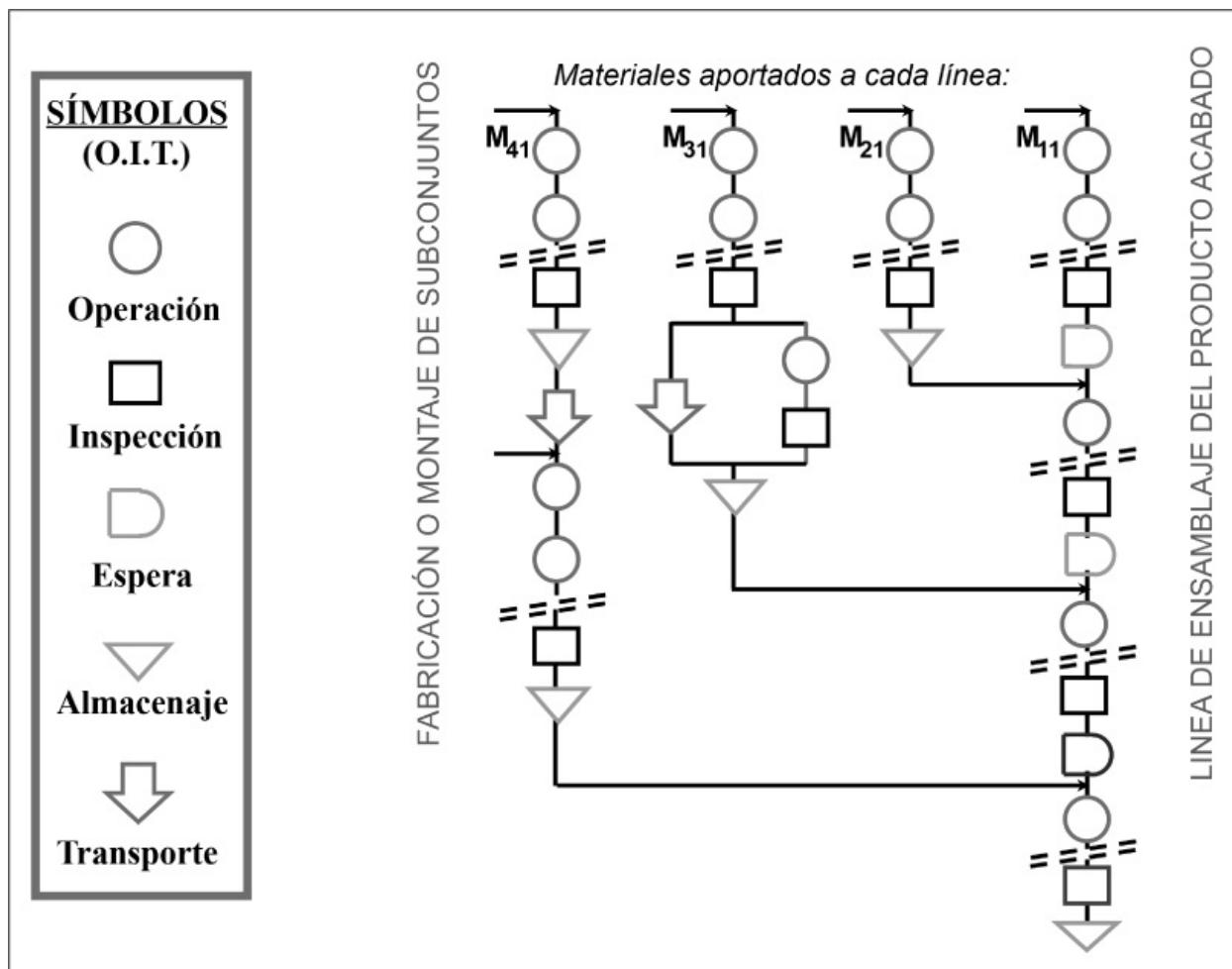


Figura 2.5. Diagrama de proceso con los símbolos de las distintas actividades.

En relación con los procesos y sus actividades, insistiremos en que cuanto hemos expuesto es aplicable a cualquier tipo de procesos y no solamente a los de carácter industrial. La figura 2.6 representa cómo, en efecto, cualquier proceso empresarial puede descomponerse en actividades de las cinco clases referidas: industrial, servicios materiales, servicios personales y uno no relacionado con la producción de ningún tipo, por ejemplo administrativo.

2.6. Disposición de los procesos. Modelos básicos de distribución en planta

La disposición de los procesos y sus actividades en las plantas de producción, lo

que suele denominarse su *distribución en planta*, es otra de las responsabilidades clave de la ingeniería de procesos, con la colaboración de la ingeniería de planta. Las posibles distribuciones en planta entre las que elegir son varias, pero todas ellas emanan de dos fundamentales.

Los dos modelos básicos de distribución en planta son:

ACTIVIDAD		PROCESO INDUSTRIAL	SERVICIOS MATERIALES	SERVICIOS PERSONALES	PROCESO ADMINISTRATIVO
Operación	○	Conexión del motor en un molinillo de café	Adición de la salsa a un plato de pescado	Radiografía en un proceso de chequeo	Introducción de los datos de una factura, en un ordenador
Inspección	□	Control de calidad de la conexión	Control del sabor y PH de la salsa	Control de datos de identidad del paciente	Comprobación de los datos de la factura
Espera	D	Puesto de conexión esperando el suministro de cables	Pescado esperando la adición de la salsa	Paciente tendido en una camilla, en espera del médico	Factura esperando la firma del responsable
Almacenaje	△	Molinillos montados almacenados en un carro	Recipientes con salsa ya elaborada para varios platos de pescado	Sala de espera con pacientes esperando ser llamados	Cubeta con facturas a introducir en un ordenador
Transporte	→	Carro con molinillos transportados a área de embalaje	Platos de pescado con salsa llevados a la mesa del cliente	Camilla con un paciente trasladada a un quirófano	Cubeta de facturas llevada a un archivador

Actividades que no aportan valor alguno

Figura 2.6. Los distintos tipos de proceso utilizan las mismas actividades.

- Disposición *orientada al proceso o funcional* en la que los puestos de trabajo están agrupados *funcionalmente*, es decir, por el tipo de actividad que desarrollan (su función), pero sin relación alguna con el producto, que se mueve en cada operación hacia el puesto de trabajo adecuado, allí donde se halle.
- Disposición *orientada al producto o en flujo*, en la que los puestos de trabajo están dispuestos *en flujo* o *cadena*, de acuerdo con la secuencia de operaciones que seguir por el producto a obtener.

Ambos tipos de disposición son antagónicos en su concepción, lo que queda patente si pensamos que en la disposición orientada al proceso, el producto debe ir hasta el puesto de trabajo que pueda realizar la operación que

necesita, y en la disposición orientada al producto, es el puesto de trabajo el que se sitúa en la secuencia de operaciones del producto (el puesto *viene* hasta el producto). Vamos a exponer ahora las características básicas de cada uno de ellos:

a) Distribución funcional (talleres, en producción industrial)

La distribución *funcional* o por *talleres* está basada en puestos de trabajo integrados por personas y máquinas, como se observa en la figura 2.7, dispuestos funcionalmente en la planta, y es el producto el que, a base de recorridos más o menos complejos y diferenciados, pasa de un puesto a otro; cada producto puede tener así su itinerario distinto (la figura presenta dos de ellos, con rutas identificadas con las letras A y M, respectivamente).

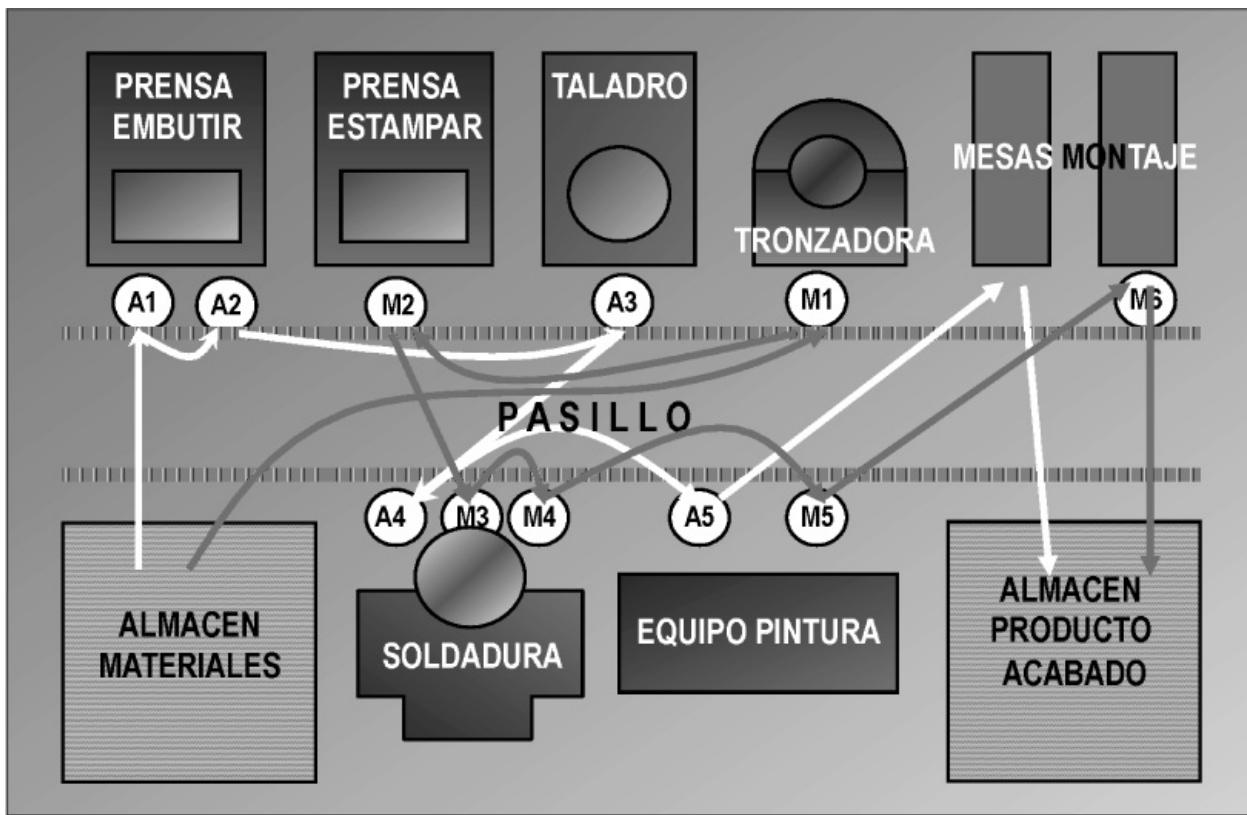


Figura 2.7. Distribución orientada al proceso o funcional.

Como ejemplos de la distribución funcional podemos citar:

- ✓ **En producción industrial:** cualquier taller de fabricación (mecanizado, soldadura, etc.).
- ✓ **En producción de servicios:** aquellos en los que es la persona la que se desplaza a puestos de atención fijos: supermercados, hospitales, oficinas bancarias, aeropuertos, hoteles, restaurantes, etc.

De hecho, tanto en el mundo industrial como en el de los servicios, lo habitual es este tipo de distribución en planta. Sin embargo y como veremos, es la distribución más adecuada para las plantas regidas por modelos de gestión tradicionales.

En una planta con distribución funcional, los equipamientos suelen ser genéricos, de gran capacidad, con frecuencia costosos, y precisan de una mano de obra experta y especializada. Entre los aspectos positivos de esta distribución, destacaremos que se caracteriza por el hecho de que ningún puesto de trabajo (y por tanto ninguna máquina o equipo) está dedicado a un producto en concreto. Cualquier producto que precise del puesto puede pasar por él y, por tanto, se *amortiza* mejor cada máquina o equipo de producción. Además, dado que los productos pueden seguir rutas muy distintas, podrán estar sometidos a operaciones asimismo distintas, lo que posibilitará una producción de una gran variedad de productos. Finalmente, como éstos siguen rutas muy variables, no será difícil cambiar una máquina o puesto de trabajo que se halle en la ruta del producto cuando tenga problemas (avería, saturación, etc.), es decir que las incidencias no representarán un problema grave.

Por el contrario, como aspecto negativo, este tipo de disposición tiene el inconveniente de la lentitud en el desarrollo del proceso, a consecuencia de que habitualmente opera por lotes o contenedores de producto, entre operaciones distantes, que requieren un transporte intermedio. Ello supondrá que cada unidad de producto deberá estar en cada puesto de trabajo el tiempo necesario para llevar a cabo su operación, más el de todas las unidades del lote (en un lote de 100 piezas, en que cada una requiriera un minuto, ¡cada pieza estará 100 minutos —casi dos horas— en el puesto!). De hecho es aún peor, ya que para que los puestos no estén parados, cuando llegue la caja a un puesto, deberá *hacer cola* y esperar a que el puesto termine con el lote o lotes que está procesando.

Otro aspecto negativo de la distribución en planta funcional es el costo, ya que esta disposición de los procesos requiere una gran proporción de actividades complementarias, ya que cada unidad de producto debe esperar su turno a pie de operación; habrá que manipularla, situarla en una caja o contenedor una vez procesada, transportarse de un puesto a otro con distancias más o menos largas, permanecer en stock gran parte del tiempo, etc. Tales actividades no aportan valor añadido alguno, pero en cambio tienen un coste, por lo que han sido calificadas de *desperdicios*.

Así pues, las características esenciales de este tipo de distribución son:

VENTAJAS	Variedad y flexibilidad en el tipo de producto
	Procesado de lotes pequeños de producto
INCONVENIENTES	Tiempo de proceso muy largo
	Gran cantidad de desperdicios (coste elevado)

En la fotografía de la figura 2.8 se observa una planta de este tipo, con una agrupación de máquinas del mismo tipo reunidas ordenadamente en un lugar determinado.



Figura 2.8. Distribución funcional de una planta.

b) Distribución en flujo o en cadena

La disposición básicamente alternativa a la anterior es la que asegura un *flujo* directo para el producto, al disponer las operaciones en *línea*. Es muy típica en las cadenas de montaje, que utilizan esta distribución tanto si su gestión obedece a un modelo avanzado como si no.

Su filosofía es totalmente antagónica a la anterior, por lo que no nos deberá sorprender que sus ventajas e inconvenientes sean los contrarios. La figura 2.9 señala esta disposición para los dos mismos productos de la distribución funcional de la figura anterior, aunque ahora cada uno de ellos se procesa en una *línea en flujo* distinta.

En ella, los puestos de trabajo —y los equipos que éstos requieran— están situados uno junto a otro, de acuerdo con la secuencia de operaciones del producto a obtener. El producto pasa de un puesto a otro rápidamente, siempre con la misma secuencia de operaciones (aunque más adelante veremos qué diseños multiproducto admitirán ciertas diferencias).

Al contrario que la disposición anterior, el tipo de distribución en planta en flujo o cadena exige un producto con un alto grado de homogeneidad, volumen de producción elevado, demanda regular y gran organización en el proceso y en el abastecimiento de materiales. Además, este tipo de implantación exige una gran sincronización en las operaciones y evitar el problema que supondría tener que detener el proceso por algún problema en alguna de sus operaciones (avería en algún equipo o problemas de calidad o falta de abastecimiento en los materiales y productos en proceso, entre otros), por lo que, al contrario que en la implantación funcional, aquí las incidencias sí que son importantes.

Como ejemplos de la distribución en flujo que ayuden a comprender su filosofía podemos citar:

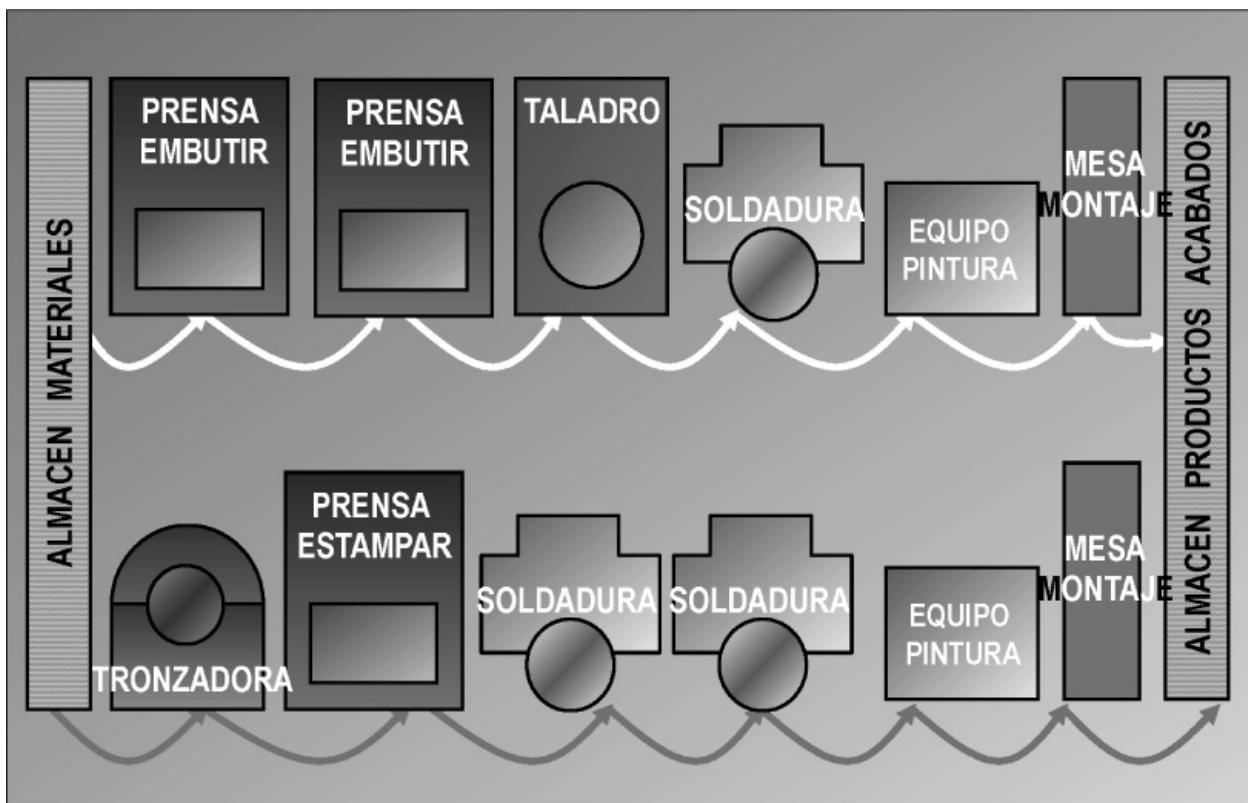


Figura 2.9. Distribución orientada al producto o en flujo.

- ✓ En **producción industrial**: cualquier cadena de montaje (automóviles, televisores, etc.).
- ✓ En **producción de servicios**: aquellos que se prestan asimismo *en cadena*, como por ejemplo en un restaurante *self service*.

Como características básicas de este tipo de distribución, destacaremos que los productos tienen rutas iguales (o muy similares, según ya se ha comentado), lo que exige homogeneidad en detrimento de la variedad y flexibilidad; además los puestos de trabajo (y sus equipos) están dedicados al producto objeto de la producción en flujo, lo que hace que si no se precisara un volumen importante de producción para el mismo, los puestos y sus equipos podrían quedar infráutilizados.

Como aspectos positivos, destacaremos que ya no será necesario operar en lotes, dada la proximidad de los puestos entre sí, de forma que cada unidad de producto o una cantidad mínima del mismo será transferida al puesto siguiente tan pronto como termine su proceso en uno dado, sin esperar a que terminen

otros, por lo que el tiempo total de proceso o lead time será mucho menor que en la distribución funcional. Sin embargo, si los tiempos de operación de los distintos puestos de trabajo no son iguales o muy similares entre sí —y, por tanto, el proceso no está equilibrado o balanceado— se acabarán acumulando materiales entre puestos.

Además, la producción en flujo o cadena tiene muy pocas actividades de manipulación o de otros tipos que no añaden valor al producto; por esto su coste es asimismo muy inferior al de la producción funcional. En resumen, este tipo de disposición de procesos se caracteriza por:

VENTAJAS	Tiempo de proceso bajo
	Cantidad mínima de despilfarros (coste bajo)
INCONVENIENTES	Producción muy homogénea (baja variedad)
	Volúmenes de producción elevados

La fotografía de la figura 2.10 presenta una línea de montaje con el producto (automóvil) avanzando uno a uno, movido por un sistema de cadena colgante.

c) *Disposiciones derivadas*

Los dos tipos de disposición citados son, como ha sido expuesto, los modelos básicos de distribución en planta, de los que se pueden derivar otros. Nos ocuparemos ahora de otros dos obtenidos por desdoblamiento de estos dos tipos básicos, uno por cada uno de ellos, con un criterio dado: el volumen de producción exigido. Los cuatro tipos de disposición del proceso resultantes darán lugar a cuatro alternativas con un volumen exigido de producción creciente: muy bajo y bajo los de tipo funcional y elevado y muy elevado los que surgen de la disposición en línea. Serán los que siguen:



Figura 2.10. Línea de ensamblaje en flujo continuo por cadena.

C.1) DISPOSICIÓN EN PUESTO FIJO O CADENA DE PUESTOS FIJOS

Disposición que, como la funcional, puede llevar a cabo lotes muy pequeños de producto variado, en la que, a cada producto se le realizan las actividades que sea conveniente. La diferencia estriba en que los productos ahora pueden ser voluminosos y pesados y puede convenir que no se muevan, por lo que serán los operarios, materiales y herramientas o equipos los que se muevan hacia el producto.

Puede darse la circunstancia de que se trate de una única unidad de producto muy compleja que, de hecho, constituirá un proyecto, por lo que una variante de este tipo de producción sería la producción por proyecto.

Como ejemplos de estos tipos de producción que ayuden a comprender su filosofía podemos citar:

- ✓ En **producción industrial**: fabricación de locomotoras o generadores de vapor. Por proyecto: un trasatlántico o un edificio.
- ✓ En **producción de servicios**: organizar un congreso o un espectáculo circense. Por proyecto: organizar unas Olimpiadas.

La fotografía de la figura 2.11 plasma este tipo de implantación para una cadena de puestos fijos para la construcción de aviones.

C.2) DISPOSICIÓN EN FLUJO CONTINUO.

Obtenida por desdoblamiento de la producción en línea o cadena: el

volumen de producción es aquí elevadísimo, mientras que el producto es tan insignificante y homogéneo que pierde su identidad y se acaba midiendo por medidas de flujo (toneladas, metros cúbicos, litros, etc.).

Como ejemplos de estos tipos de producción que ayuden a comprender su filosofía, citaremos:

- ✓ En **producción industrial**: fabricación de cualquier producto que se obtenga en flujo continuo: cemento, hilo, azúcar, pintura, productos químicos, leche, etc.
- ✓ En **producción de servicios**: aunque este tipo de producción es muy propia de la producción industrial, podemos imaginar un servicio que se acomodara al mismo, tal como pintar varios kilómetros de un oleoducto o gaseoducto o las líneas de una carretera, instalar varios kilómetros de una cerca, etc.

La fotografía de la figura 2.12 indica una disposición de este tipo para una planta de refinería de petróleo.



Figura 2.11. Línea de producción por cadena de puestos fijos.

El cuadro de la figura 2.13 señala resumidas las características de los tipos de producción expuestos.

Por lo que se refiere a la preferencia por uno u otro tipo de distribución en planta, conviene que tengamos en cuenta que, como se verá más adelante a

propósito de los sistemas de gestión de la producción, la tendencia actual parte de la base de adaptar la producción a una demanda variable, producto personalizado y series cortas, para lo que parece en principio mejor una disposición flexible, como la de tipo funcional. Sin embargo, la rapidez de respuesta y el bajo costo, así como la simplicidad de recorrido del producto, han permitido desarrollar *sistemas para aprovechar al máximo las ventajas de la disposición en flujo o cadena y conjugarlas con el logro de la mayor flexibilidad en su diseño.*



Figura 2.12. Planta de producción en flujo continuo.

TIPO DE PROCESO	Tipo de producto	Volumen de producción	Disposición en planta	Tipo de puestos de trabajo	Ciclo de producción
PUESTOS FIJOS. PROYECTO	Individual. No estandarizado	Una unidad o muy bajo	Fija. Orientación al proceso	Itinerantes	Único. Más o menos largo
FUNCIONAL (talleres)	A medida. Poco estandarizado	Pocas unidades o series cortas	Orientación al proceso por lotes	Fijos. Grupos homogéneos	Largo (esperas y colas)
EN FLUJO O CADENA	Estandarizado. Más o menos personalizable	Grande. Series más o menos largas	Orientación al producto. Flujo en unidades	Fijos (según producto)	Corto (flujo unitario sin esperas)
FLUJO CONTINUO	Identificable en flujo. Homogéneo	Muy elevado e ininterrumpido	Orientación al producto por flujo continuo	Flujo automatizado	Corto (Flujo continuo sin esperas)

Figura. 2.13. Características de los tipos de distribución en planta de los procesos.

Habitualmente es corriente aplicar este tipo de disposición en el montaje del producto mientras la fabricación se lleva a cabo en disposiciones de tipo funcional. Sin embargo, en los sistemas más avanzados, también en la fabricación se ha ido encontrando la forma de compaginar los bajos tiempos y costes de la disposición en línea con la necesaria flexibilidad. En efecto, el interés por conjugar procesos de producción en flujo con la flexibilidad que exigen en la actualidad productos y mercados ha llevado a las ingenierías de proceso con enfoques avanzados a disponer en flujo todos los procesos, pero con un nivel muy elevado de flexibilidad. En capítulos posteriores iremos desarrollando este tipo de implantaciones.

La tabla de la figura 2.14 indica las características esenciales de los procesos en relación con el tipo de distribución en planta.

2.7. Relaciones entre las decisiones que afectan

al producto y a su producción: la matriz producto-proceso

Por lo que hemos visto hasta ahora, existen diferentes aspectos determinantes en cuanto al producto y sus procesos:

ORIENTACIÓN AL PROCESO	ORIENTACIÓN AL PRODUCTO
Agrupación de puestos y sus equipos por funciones	Agrupación de puestos y sus equipos por secuencia proceso
Equipos y personal especializados (técnica)	Especialización por división del trabajo
Adeuada para: - Producto diferenciado - Series reducidas - Equipos costosos - Personal experto - Maquinaria de uso polivalente	Adeuada para: - Producto normalizado - Series largas - Demanda estable - Abastecimiento regular - Equipamientos especializados
Flexible a cambios en productos y equipos	Difícil adaptación a cambios en productos y proceso
Tasa de utilización de los equipos baja	Tasa de utilización de los equipos, alta
Tiempos de proceso, largos. Volumen de trabajo en curso, alto. Plazo de ejecución y coste, altos.	Tiempos de proceso, cortos. Volumen de trabajo en curso, pequeño. Plazo de ejecución y coste, minimizados

Figura 2.14. Características comparadas de las dos orientaciones de distribución en planta.

Por lo que al *producto* se refiere, destacaremos:

- Variedad de modelos que producir.
- Volumen que obtener (condicionado por la etapa del ciclo de vida).

En cuanto a los *procesos*, destacaremos:

- Tipo de proceso y muy especialmente si se adapta a una distribución orientada al producto o al proceso.
- Etapa de la cadena de valor del proceso productivo .
- Especialización funcional de la estrategia competitiva (calidad, coste, flexibilidad, etc.).
- Tipo de control del proceso.

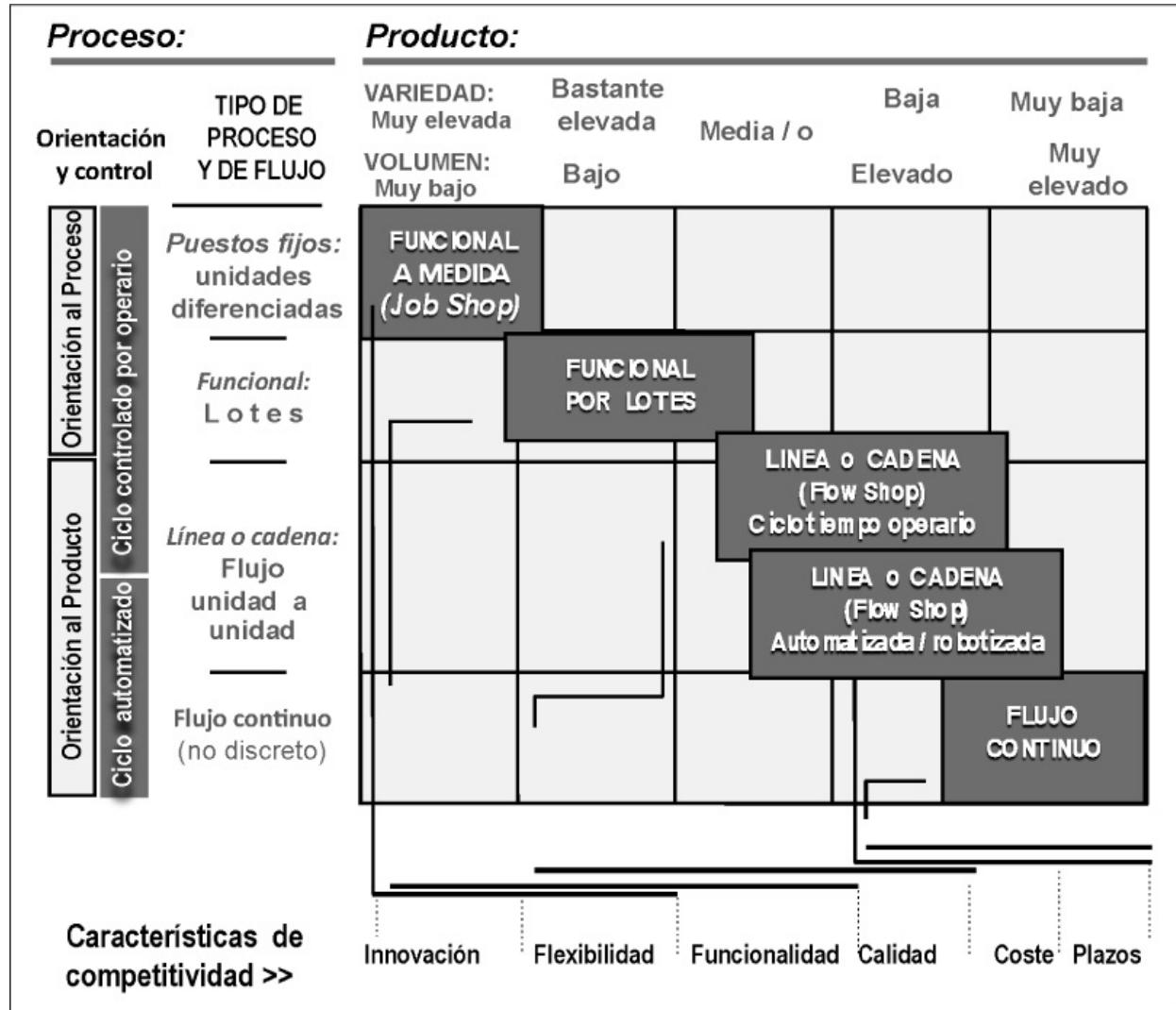


Figura 2.15. Matriz producto-proceso clásica.

La variedad en las tipologías de productos y procesos sugiere que determinados productos son adecuados para que su producción se lleve a cabo mediante determinados procesos; de hecho, el cuadro de la figura 2.13 ha supuesto ya una adecuación de determinadas tipologías de producto (en

columnas) con los cuatro tipos de implantación del proceso productivo expuestas en este epígrafe (en filas del citado cuadro). Esta clasificación, nacida de los tipos de implantación de los procesos, dará lugar a las modalidades básicas de producción empleadas actualmente por la ingeniería de procesos, a las que se añadirán, más adelante, otras más avanzadas. La figura 2.15 muestra estas modalidades en forma de lo que se conoce como *matriz producto-proceso*.

En dicha matriz, pues, los tipos de proceso son los cuatro ya expuestos anteriormente, dos con orientación proceso (puestos fijos y funcional por lotes) y dos con orientación producto (línea o cadena y flujo continuo); los productos variarán de acuerdo con su volumen (creciente) y su variedad o personalización (decreciente), aunque, como se verá, incorporaremos también las estrategias de competitividad del producto.

Los distintos tipos de producción resultantes de combinar unos y otros se obtendrán en función de la fila (tipo de proceso) y la columna (variedad-volumen de producto), por lo que los tipos de producción que resultan de combinaciones adecuadas se hallan situados, según puede apreciarse, en la diagonal de la matriz, lo que no debe sorprender si pensamos que los tipos de producto evolucionan de forma que su volumen va creciendo, mientras que los cuatro tipos de proceso, por su parte, se ajustan exactamente al mismo patrón.

Esta matriz producto-proceso, inicialmente desarrollada por Hayes y Wheelwright, la denominaremos *clásica* o *tradicional*, puesto que las tendencias más recientes en la gestión de los sistemas productivos han dado lugar, como se verá cumplidamente, a nuevos tipos de producción que rompen el principio de la diagonalidad.

Ocupémonos ahora de las características de los tipos de producción de la matriz producto-proceso clásica, la de la figura 2.15. Acompañando cada uno de ellos se dará un ejemplo del mundo de la informática, como se hizo para las estrategias de producto.

1. Producción funcional a medida (*job shop*)

En la parte superior izquierda tenemos situada la configuración productiva *funcional a medida*, también llamada *job shop*. En este tipo de configuración se

producen lotes o grupos más o menos pequeños de una amplia variedad de productos de poca o nula estandarización (son *a medida* o con muchas características y, por tanto, operaciones personalizadas), de forma que una vez obtenidos, tal vez no vuelvan a producirse más (con las mismas características). En este tipo de producción, se emplean equipos de escasa especialización, que suelen agruparse en talleres o centros de trabajo a partir de la función que desarrollan (orientación al proceso); estos equipos suelen ser versátiles y permiten ejecutar operaciones diversas.

Los centros de trabajo suelen estar integrados por personal altamente cualificado, que con el concurso de medios de producción y de una gran variedad de materiales procesan volúmenes bajos o muy bajos de *outputs* muy diversificados. Los equipos pueden quedar inactivos si no se precisan, pero las personas deben estar permanentemente ocupadas, para lo que suele haber una cartera de pedidos pendientes —que provoca un alargamiento de los plazos de entrega, ya de por sí largo— y una gran cantidad de stock de materiales y trabajos en curso. Además, como lejos de constituir procesos equilibrados, este tipo de producción acarrea fuertes desequilibrios, se crean *cuellos de botella* en determinados puestos de trabajo, cuya carga es superior a la de los demás y se acumula mucho material que procesar en los mismos.

Por otra parte y, como se aprecia en la mencionada figura 2.15, este tipo de producción es muy adecuada para los productos cuya estrategia se basa en la innovación y la flexibilidad, ya que cada producto puede ser una innovación. De hecho, será aconsejable la producción *job shop* cuando la innovación y flexibilidad puedan alcanzarse, en la medida de lo exigido por el mercado, solo mediante este tipo de producción, a consecuencia de la gran variabilidad de las características del producto y los bajos volúmenes,.

Como ejemplo de producción *job shop* para el sector de la informática, podríamos referirnos al desarrollo de aplicaciones específicas para clientes concretos, cada una de ellas a medida de sus necesidades y desarrollada expresamente para ellos. También podríamos poner como ejemplo, esta vez a nivel de *hardware*, el caso de un distribuidor de equipos que los adquiere ya ensamblados pero en formato estándar, cuyo valor añadido consista en personalizar, uno a uno, sus características y prestaciones para clientes concretos (tipo de procesador, memoria RAM, capacidad de disco duro, etc.).

2. Producción funcional en lotes

Algo más abajo y a la derecha de la matriz producto- proceso, encontramos la configuración funcional por lotes o grupos de producto, que tienen las mismas características. El proceso de producción suele requerir varias operaciones de un mayor nivel de especialización, con maquinaria asimismo específica, aunque la automatización de los procesos sigue siendo baja y se mantiene una buena flexibilidad. El producto suele tener varios modelos o variantes entre los que elegir, pero ya no es a medida; sigue habiendo variedad, pero con ciertas limitaciones y los lotes o grupos de producto ya tienen un cierto volumen.

Este tipo de producción suele aplicarse en producciones sobre pedido, y operando para stock para componentes estandarizados.

Las características básicas de este tipo de implantación son las propias de la disposición orientada al proceso: recorridos distintos y largos para el producto, muchas actividades de manipulación y transporte, muchas esperas de productos en proceso y por tanto volúmenes importantes de stock, así como tiempos de entrega largos.

Por el contrario, sus ventajas son la diversificación de producto y la posibilidad de dotarlo de características muy específicas, lo que lo hace aconsejable para los casos en que importen las estrategias de flexibilidad y funcionalidad; asimismo, este tipo de producción puede operar con volúmenes bajos de producto. Dado que ello se logra al elevado precio de tiempos largos de proceso y abundancia de actividades de soporte a las operaciones —que ya hemos tildado de desperdicio—, para los sistemas de producción más avanzados, que tratan de evitarlo, se propondrán opciones distintas que lo permitirán.

Este tipo de producción se adapta con facilidad a las necesidades cambiantes de los clientes, aunque, a diferencia de lo que sucede en la producción job shop, se podrán reunir pedidos suficientemente similares en una sola orden de fabricación para proceder a la producción de un lote o grupo, con lo que se podrán mejorar los aspectos negativos de tiempos, desequilibrios, stock y otros desperdicios propios de la producción funcional a medida.

Como ejemplos del mundo de la informática podríamos poner los dos mismos del caso anterior, con un nuevo enfoque: el desarrollo de paquetes informáticos específicos para aplicaciones concretas y cambiantes, pero con

características predeterminadas y comunes en cada una. Lo mismo podríamos decir del distribuidor que fabrica equipos con prestaciones concretas a partir de otros estandarizados; tanto en un caso como en otro, el cliente podrá elegir entre una gran variedad de modelos de producto con características propias, aunque no se llegue a personalizar completamente para sus exigencias concretas.

3. Producción en línea o cadena (flow shop).

Siguiendo nuevamente la diagonal de la matriz de la figura 2.15, un poco más abajo y a la derecha, tenemos las configuraciones en flujo que hemos identificado como línea o cadena. Se trata de implantaciones con orientación al producto, con las características propias de este tipo de distribución en planta que, como sabemos, son ciertamente opuestas a las hasta aquí desarrolladas. Esta modalidad de diseño se adopta, en esencia, cuando se trata de producción de lotes o grupos más o menos grandes de unos pocos productos muy estandarizados, usando para ello las mismas instalaciones. Se trata de productos cuyo proceso requiere una secuencia similar de operaciones, de forma que los puestos de trabajo y sus máquinas y equipos se disponen en línea, muy cerca, una tras otra.

Tras procesar un producto o modelo, puede procederse a ajustar las máquinas o equipos productivos para producir un lote de otro distinto, y así sucesivamente. La variedad de output, pues, suele ser baja.

En esta modalidad de configuración productiva, hemos diferenciado en la figura dos tipos de producción: uno con ciclo productivo controlado por el operario y otro automatizado. Con este último es normal obtener un volumen superior de output con una calidad elevada, un coste menor y con menos problemas para cumplir los plazos de entrega.

Si observamos nuevamente la matriz, en el lado de los procesos de producción hay un bloque relativo al tipo de orientación de la implantación que cambia justo al llegar a este tipo de producción, como ya hemos apuntado, y otro relativo a la automatización, que cambia justo entre las dos modalidades a las que acabamos de referirnos (ciclo gobernado por tiempo de operario o ciclo automatizado).

Las estrategias competitivas para la producción en línea o cadena se centran mayormente en la productividad (y por tanto en el coste), la calidad y el

tiempo; sin embargo, para las implantaciones en línea con ciclo de operaciones manuales, la funcionalidad (y en cierta medida, la flexibilidad) es aún compaginable con estas últimas (obsérvese nuevamente la figura), lo que no ocurre con las líneas automatizadas.

Una característica propia de este tipo de producción es que los procesos pueden y deben hallarse equilibrados, como resultado de la homogeneidad de las rutas de operaciones de los productos y la ausencia de trabajo por lotes, por lo que es más fácil resolver los problemas de la existencia de cuellos de botella; de hecho, con el equilibrado bien implantado desaparecerán los mismos. Sin embargo y precisamente por la dependencia entre puestos que supone el equilibrado, cualquier incidencia puede parar la línea entera (falta de aprovisionamientos, problemas con las máquinas o con los operarios, etc.).

Los equipos suelen ser especializados para el tipo de operación y aún de producto y se hallan dedicados por completo a los mismos.

Como ejemplos de la producción en línea o cadena, sea con ciclo controlado por el operario o automatizado, en el mundo de la informática hay muchos: todos los productos estandarizados y los módulos estándar que integran otras variantes de producto pueden haber sido obtenidos por algún tipo de producción en línea o cadena. Así, por ejemplo, el ensamblaje de ordenadores fijos o portátiles y tabletas, además de periféricos como impresoras o teclados, suele llevarse a cabo por medio de configuraciones en línea controladas por operaciones manuales, y la fabricación de componentes tales como circuitos integrados, acostumbra a realizarse en líneas específicamente diseñadas al efecto y con ciclo automatizado.

4. Producción en flujo continuo

Por último, en el extremo inferior derecho de la diagonal de la matriz producto-proceso se situaría la configuración propia de la producción en flujo continuo. En esta modalidad, cada máquina y equipo están diseñados para realizar siempre la misma operación, dispuestos para obtener un gran volumen de output, de una gran calidad y un coste muy bajo y con gran rapidez de respuesta. Por el contrario, la variedad de los productos, así como los cambios en el diseño de los mismos, habrá de ser muy pequeña y, además, suelen estar estandarizados en todo el mercado.

El tipo de producción, como puede observarse en la matriz, es de flujo lineal, con orientación al producto y siempre automatizada; el producto obtenido, ya lo sabemos, no puede medirse en unidades discretas, sino en las propias del flujo continuo.

Dado que el proceso se halla invariablemente automatizado, los operarios no deben ocuparse de ninguna operación de dicho proceso, sino tan solo de las incidencias, operaciones de mantenimiento y de control de calidad que no se lleve a cabo automáticamente, así como de la alimentación y descarga del producto cuando tampoco sea automático.

Evidentemente, las características de competitividad de este tipo de producción, se centran exclusivamente en la calidad, coste y tiempo que pueden alcanzarse, simultáneamente, a muy alto nivel.

Ejemplos de este tipo de producción son los propios de las llamadas *industrias de proceso* (cemento, productos químicos, hilatura, etc.), que son muy específicos de determinados sectores, y en el mundo de la informática es difícil encontrar casos de este tipo tan especial. Sirvan, como ejemplo, los componentes de los equipamientos informáticos que respondan a estas características, tales como el cableado y la transmisión de datos a larga distancia mediante fibra óptica.

Llegados a este punto, hemos descrito las modalidades de producción de la matriz producto- proceso clásica. Sin embargo, y tal y como ya hemos apuntado, existen otras configuraciones derivadas de dicha matriz, más avanzadas, que serán objeto de nuestra atención seguidamente.

2.8. Los nuevos tipos de producción: la matriz producto-proceso completa

Las nuevas y avanzadas formas de gestionar los sistemas productivos, que serán objeto de nuestra atención más adelante, han supuesto la existencia de nuevos tipos de producción en la matriz producto-proceso.

En efecto, según ha sido expuesto, una característica esencial de la matriz producto-proceso clásica es la de que todos los tipos de producción que contempla se hallan sobre la diagonal de dicha matriz. Sin embargo, los

enfoques avanzados de la gestión de los sistemas productivos ya no obedecen a esta alineación, puesto que tratan de alcanzar dos objetivos:

- ✓ Efectuar la producción con el *mínimo empleo de recursos y con el mínimo número de actividades*. Como se recordará, entre los tipos de implantación de los procesos, los que se podían llevar a cabo con una cantidad menor de actividades innecesarias y, en definitiva, con el mínimo empleo de recursos, eran los tipos de proceso con *orientación al producto*, es decir, implantaciones en flujo o cadena, avanzando el producto unidad a unidad (para evitar la operativa en lotes o grupos de producto). En la matriz producto-proceso, estos tipos se hallan en la zona inferior de la misma.
- ✓ Operativa con *volúmenes de producción pequeños y elevada variación de producto*. Los volúmenes de producto bajos con variedad elevada de producto se hallan en la zona izquierda de la matriz producto-proceso.

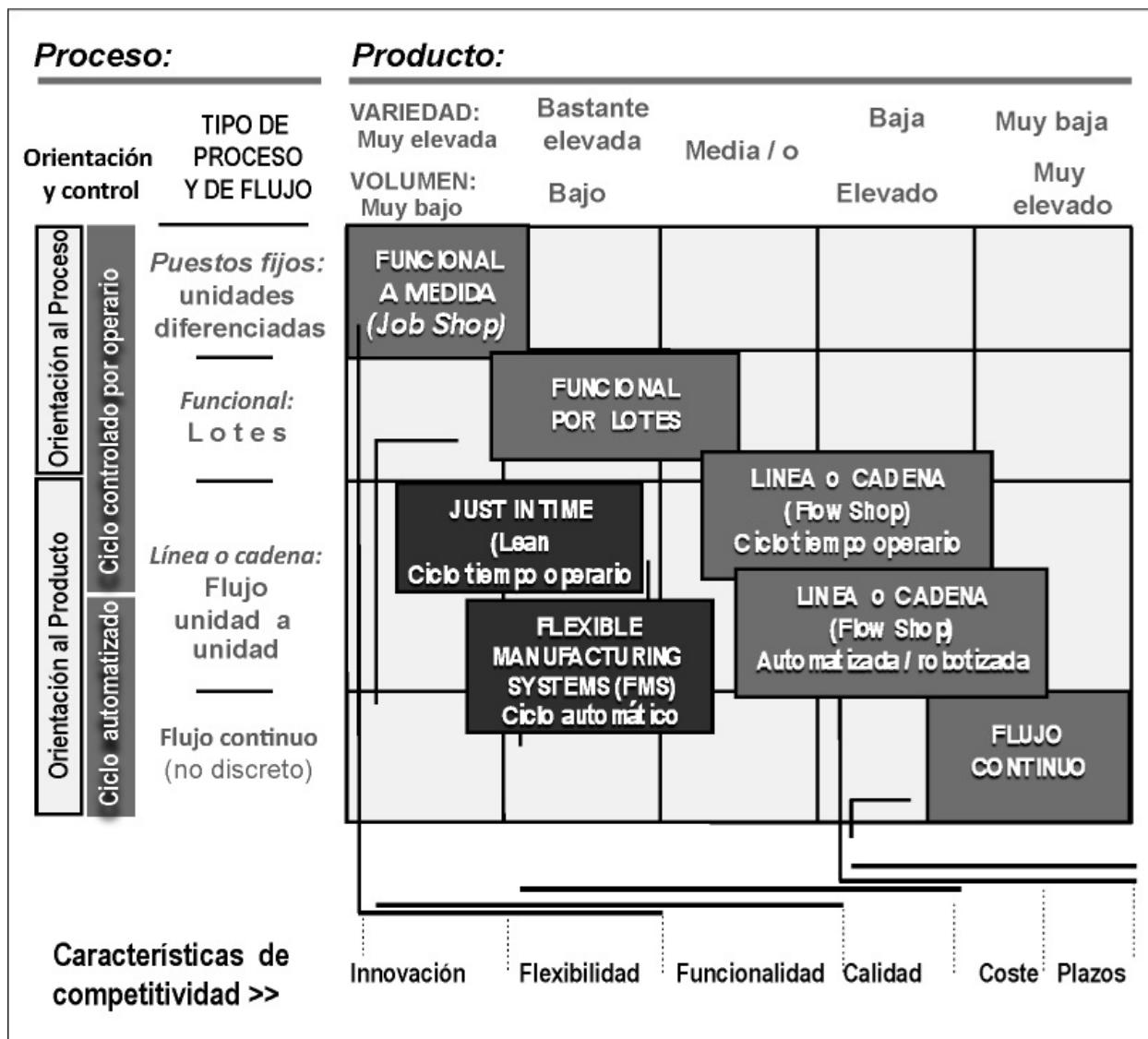


Figura 2.16. Matriz producto-proceso completa.

Así pues, los enfoques avanzados de gestión deberán estar situados en la zona inferior izquierda de la matriz producto-proceso y, por tanto, fuera de la diagonal, aunque ello parece suponer un contrasentido. La figura 2.16 muestra la matriz producto-proceso completa, que incluye los tipos de producción a los que acabamos de referirnos.

En esta matriz aparecen dos nuevos tipos de producción, naturalmente fuera de la diagonal, claramente destacados¹:

1. *Producción Just in Time (JIT)* propio de la operativa del sistema desarrollado por Toyota, que actualmente se está extendiendo por

todo el mundo con la denominación de *lean management*. Su filosofía está en la línea con la producción de pequeñas cantidades de una producción variada, lo que le confiere gran flexibilidad. Además, está centrada en el ahorro de recursos, al tratar de eliminar los desperdicios del sistema productivo, lo que le permite cubrir eficientemente todas las exigencias de competitividad: calidad, tiempo y coste, como en toda implantación en flujo o cadena; flexibilidad, funcionalidad e, incluso, innovación, como características propias, dado que opera con pequeños lotes y alta variación en el producto.

Como contrapunto, la organización que requiere este modelo de gestión es bastante más complejo que los tradicionales.

2. *Sistemas de fabricación flexible (Flexible Manufacturing Systems FMS)*, nacidos en la década de los ochenta y en cierto modo como contrapunto al avance imparable del JIT, aunque, en la actualidad, son una alternativa más entre los tipos de producción. Estos sistemas se basan en el uso intensivo de la tecnología por medio de máquinas y equipamientos automatizados y programables informáticamente, para lograr, con rapidez, adaptarse a las variaciones que exijan los productos y procesos.

Por medio de equipos programables, básicamente máquinas de control numérico, se lleva a cabo la producción de productos diferenciados, de forma que puede alcanzarse un nivel muy elevado de flexibilidad y abarcar fácilmente la mayoría de las características de competitividad. El contrapunto, en este caso, viene de la mano de una fuerte complejidad tecnológica e inversiones muy importantes, que hacen que este sistema se reserve para tipos de producción muy concretos. En el capítulo dedicado a las máquinas y la automatización, nos extenderemos en este tipo de producción y las máquinas de control numérico.

Los dos nuevos tipos de producción que acabamos de presentar tienen en común, además, su tipo de implantación atendiendo a células flexibles, una forma especial que obedece a los principios de producción en flujo unidad a unidad (la que menos consume recursos inútiles o desperdicios). Como se verá más adelante, las células flexibles son implantaciones en flujo preparadas especialmente para llevar a cabo la producción de pequeños lotes de producto

y cambiar rápidamente a otras variantes del mismo (lo que exige mucha flexibilidad), que pueden ser utilizadas tanto en la fabricación como en los ensamblajes o montajes.

En el supuesto de que las operaciones sean manuales, la línea de producción que compone la célula suele tener forma de U, para que el operario tenga más cerca cualquier máquina u operación y no tenga que hacer movimientos innecesarios. Este caso es mucho más frecuente en el JIT que en el FMS que, por principio, es automático (motivo por el que en la matriz producto-proceso, el JIT se halla en la zona de operaciones manuales y el FMS en la de operaciones automatizadas, más abajo).

Las células flexibles son líneas en flujo con las operaciones correspondientes a un proceso determinado; la variedad de productos que se pueden procesar debe tener una base común para alcanzar la necesaria eficiencia; esta base viene condicionada por las operaciones de que se compone el proceso y, en los sistemas FMS, condiciona el hecho de que los productos tengan formas geométricas comunes y se varíen básicamente las medidas u otras características; la agrupación de productos y componentes con criterios geométricos y de medidas ha dado lugar a la llamada *tecnología de grupos*.

1. La implantación y gestión de estos nuevos modelos de producción, lo mismo que la de los clásicos, será objeto de nuestra atención más adelante. Conocer la forma de operar de unos y otros es indispensable, ya que el desarrollo de la ingeniería de procesos de cada modelo presenta fuertes diferencias con la de los demás.

3

PLANTEAMIENTO GENERAL DE UN SISTEMA PRODUCTIVO

DISEÑO GLOBAL Y DIMENSIONADO

3.1. La primera misión de la ingeniería de una planta: distribución global de todos los elementos que la integran

Vamos a abordar el planteamiento general de una planta productiva y la distribución de los elementos que la constituyen, adecuadamente dimensionados, de acuerdo con la capacidad de producción prevista. La ubicación y dimensionado de los elementos involucra las operaciones y los servicios anexos, los almacenes, laboratorios, oficinas y otros centros complementarios, así como los sistemas de comunicación interna y con el exterior.

El objetivo final que pretendemos alcanzar se centrará en reducir la circulación de todo tipo y el coste global de los productos producidos. Para conseguirlo, habremos de lograr un conjunto equilibrado en terrenos, edificios, máquinas, equipos, instalaciones y personal. Un planteamiento

coherente y ordenado de tales elementos incidirá positivamente en el resultado de la actividad productiva de la empresa. Ello supone que, con los mismos elementos, pueden obtenerse resultados muy distintos en función del planteamiento realizado, en el que la ingeniería de procesos tiene un papel relevante.



Figura 3.1. Vista general de una planta de producción y los servicios anexos basado en los costes.

La figura 3.1. muestra una planta completa con todos los elementos del sistema productivo en sendas naves construidas para ello, así como los servicios anexos, todo ello ubicado de acuerdo con los flujos de materiales, productos y personal existentes, adecuadamente dimensionado y situando los elementos que requieren comunicación con el exterior en ubicaciones asimismo adecuadas. Tampoco se han olvidado los espacios reservados para ampliaciones futuras, dimensionados y distribuidos de la mejor forma posible. Una planta con todos estos aspectos convenientemente gestionados y respondiendo a los criterios que se hayan considerado más oportunos es el objetivo final que perseguiremos en este capítulo. El lector encontrará dicha planta en la figura que cierra el mismo, una planta completa que responda a tales criterios.

Vamos pues a desarrollar la metodología que ha de permitir llevar a cabo todo ello para una planta cualquiera, sea en una superficie o en varias de ellas dispuestas en niveles.

Ante todo, hay una serie de factores que influyen decisivamente en el planteamiento y dimensionado global que vamos a abordar en este capítulo.

Entre ellos podemos destacar:

- ✓ Superficies necesarias para ubicar todos los elementos.
- ✓ Elementos a ubicar en la planta.
- ✓ Longitud de los recorridos de materiales, equipos y personas (circuitos interiores y hacia el exterior) y tiempo perdido al recorrerlos.
- ✓ Plantilla de personal precisa.

El objetivo del análisis de la distribución será economizar espacio y reducir los recorridos de los circuitos. En este sentido, los errores que más comúnmente se encuentran en muchas plantas productivas se refieren a la utilización del espacio útil disponible, que no se emplea del modo más racional y los circuitos son, a menudo, demasiado complicados. El origen de estas deficiencias puede responder a causas tales como:

- ✓ Distribución inicialmente correcta que no ha sabido adaptarse al variar las condiciones de producción (cambios, ampliaciones, etc.).
- ✓ Locales ya existentes que no permiten una óptima distribución.
- ✓ Complejidad del estudio que una buena distribución supone, en el que a menudo confluyen soluciones de compromiso.

Los principales factores que afectan al problema de la distribución en planta son, entre otros:

- Movimiento de materiales, afectado por las distancias y complejidad de los itinerarios y la posibilidad de ayudarse con la gravedad.
- Movimiento de personal, aspecto en el que debe cuidarse tanto el personal de la empresa como el que venga del exterior.
- Eliminación de los desperdicios en tiempos perdidos de personas y materiales, sea en los procesos productivos u otros.
- Aspectos de la distribución, que pueden afectar a la calidad de los productos y el mantenimiento de los equipos de producción.
- Construcción e instalaciones de la planta, facilitados por el diseño de la misma y su distribución.
- Prever posibles ampliaciones futuras.

- Seguridad y condiciones de trabajo: eliminación de riesgos, ergonomía de la planta y sus puestos de trabajo, iluminación, etc.

DISPOSICIÓN DEL PROCESO EN SUPERFICIE:

Dos son los enfoques básicos de la disposición de la planta en relación con la superficie: la disposición horizontal y la vertical. El cuadro de la figura 3.2 presenta las ventajas de una y otra.

Muchas veces estos factores afectarán de forma contradictoria a la resolución del problema, haciendo que no sea fácil encontrar la solución óptima.

DISPOSICIÓN HORIZONTAL	DISPOSICIÓN VERTICAL
<ul style="list-style-type: none"> • Construcción más ligera • No se necesitan montacargas • Posible iluminación por claraboyas • Carga en suelo ilimitada • Posibles ampliaciones en altura 	<ul style="list-style-type: none"> • El terreno puede ser de menor extensión • Cubiertas de menor magnitud • Manutención por gravedad

Figura 3.2. Comparación entre la disposición horizontal y vertical.

3.2. Planteamiento general para el estudio de la implantación

En el proceso de análisis necesario de la distribución en planta global de un sistema productivo habrá que definir, ante todo, los desplazamientos de materiales a lo largo del proceso de producción, desde el momento de la recepción de las materias primas hasta el lugar de destino de los productos terminados.

Otros aspectos a tener en cuenta son:

- **Los puestos de trabajo:** volumen de producción que se espera de los mismos, espacio necesario, equipamiento, útiles, herramientas, etc.
- **Los almacenes:** cantidades de materiales y productos que deben

- contener, así como sus características, pesos y volúmenes.
- **Las vías de enlace (pasillos, transportadores, etc.):** cantidades de materiales y productos que desplazar por unidad de tiempo, frecuencia del transporte, características físicas de los mismos, peso y volumen.
 - **Tipo de disposición de los procesos:** talleres, flujo lineal, células flexibles, ensamblajes en cadena, etc., y el tipo de operaciones y movimiento de materiales (manutención) que conlleven.

Para la distribución en planta se deberán determinar las superficies necesarias: las correspondientes a la maquinaria, la que se precise para su mantenimiento y reparación, para la circulación de personal, para el stock, etc.

El método para elegir una solución entre todas las posibles deberá sopesar las ventajas e inconvenientes de cada una de ellas. Dentro de esta comparación, se hará necesario tener en cuenta los gastos de instalación y de producción correspondientes, así como la posibilidad de modificar la distribución de manera sencilla y poco costosa, cuando haya que revisarla para que siga siendo la más adecuada, en previsión de las futuras variaciones en las gamas de productos o, simplemente, variaciones importantes en el volumen de producción.

3.3. Dimensionado de un sistema productivo

El tamaño de los sistemas productivos y las plantas que los sustentan es de una importancia trascendental y determinante del éxito o fracaso de los desarrollos en ingeniería de procesos. El dimensionado es un *input* decisivo en el diseño e implantación de procesos de producción, de acuerdo con el volumen de producción planificado (la *carga* de trabajo) y las posibilidades de la planta para absorberlo (su *capacidad*), que han de encajar entre sí.

No obstante, cuando tratamos de abordar el tema de la dimensión de un sistema productivo y sus procesos, surge la cuestión de cómo medirlo y cómo optimizar esta medida. Trataremos de resolver ambas cuestiones.

El dimensionado estará inevitablemente relacionado con alguna variable referente al tamaño de la planta: volumen de producción, capacidad de las

máquinas y equipos, número de trabajadores, etc.; se utilizan indistintamente unas y otras en función de las necesidades y características del sistema productivo. De todos modos, es corriente referirse a la capacidad de producción, de acuerdo con las máquinas, equipamientos e instalaciones que compongan la planta; además, ésta es una medida de carácter estructural, ya que las dimensiones estarán inevitablemente relacionadas con la estructura, mientras que el volumen de producción o el número de trabajadores son coyunturales.

La capacidad no es otra cosa que la cantidad de producto que puede obtenerse en un sistema productivo operando a pleno rendimiento todo el tiempo de que se disponga; de hecho, la incorporación de la flexibilidad hace que este concepto no se refiera a un mínimo infranqueable, pero sí que presentará un nivel de producción cuya eficiencia será óptima, y éste es, precisamente, el que trataremos de identificar y ajustarnos al mismo.

De hecho, podemos centrar el problema en el *valor añadido*, el objetivo básico de todo sistema productivo, tratando de maximizar el valor final del producto minimizando el valor de los recursos consumidos. Así pues, la optimización del dimensionado global de una planta puede abordarse a partir de:

- a) El *beneficio (B)*, fiel reflejo del valor añadido aportado que, sin embargo, es difícil de abordar a escala global, ya que depende de factores como el consumo de recursos necesario y otros costes implicados en la producción, pero también depende de los ingresos (*I*) que, a su vez, dependen del precio de venta, que se ha de predecir con la máxima aproximación. Además, se habrán de prever los costes no imputables a la producción o indirectos (*CI*). En tal caso, los costes vinculados a la producción (directos *CDP*) serán:

$$\mathbf{CDP} = \mathbf{I} - \mathbf{B} - \mathbf{CI} \text{ (a minimizar al dimensionar la planta)}$$

- b) El *volumen de ventas* es otro de los objetivos que pueden utilizarse para la determinación de la dimensión óptima del sistema productivo. De hecho, el crecimiento de una empresa se mide habitualmente por el crecimiento de sus mercados y sus ventas; por su parte, la capacidad de su sistema productivo deberá crecer con las

ventas, de forma centralizada, con una planta cada vez mayor y con más capacidad, o de forma descentralizada, creando nuevas plantas con su correspondiente capacidad, cada una de las cuales, a su vez, tendrá una dimensión que convendrá optimizar.

El planteamiento mejor es tener en consideración ambos objetivos: minimizar el coste operativo y ajustarse a una determinada capacidad fruto de un volumen de ventas estimado.

Veamos qué costes habrá que considerar partiendo de una determinada capacidad de instalar —volumen de producción máximo por unidad de tiempo (q)—, capacidad que exigirá un volumen de inversiones (I) en máquinas y equipamientos productivos:

- *Coste fijo de producción (CFP)*: amortización e intereses de las inversiones, costes de mantenimiento y otros gastos fijos relacionados con la explotación de dichos equipos. El coste depende de q , pues al aumentar ésta se precisará una inversión mayor en máquinas y equipamientos, aunque normalmente dicho crecimiento sea menor que el de q (para producir el doble no es frecuente precisar el doble de equipos e inversión, pues siempre hay una parte de la estructura productiva que no se precisa tocar o se alterará muy poco).
- *Costes variables de producción (CVP)*, que, junto con los *CFP* constituirán los costes directos de producción (*CD*), que hemos convertido anteriormente en nuestro objetivo relacionado con el beneficio. Su importe dependerá de los consumos (variables) de recursos tales como materiales, mano de obra, energía y otros, que obtendrán un valor por unidad de producto (*CVPu*).
- *Coste directo de producción (CDP)*, como suma del fijo más el variable, que será: $CDP = CFP + CVP = CFP + CVPu \cdot p$ (siendo p el volumen producido)
En el caso de operar a la máxima capacidad, sustituiremos p por q . Dado que *CVPu* no depende (en principio) de q y que *CFP* (q) decrece con q , el coste total directo de producción *CDP* normalmente decrecerá con q .
- *Coste de distribución (CDD)* (transporte, básicamente) del producto

hasta el mercado, que, como resulta lógico, aumentará con la distancia, que dependerá de la situación y extensión del mercado a abastecer, que se transformará en una dependencia de q , al crecer el coste de distribución CDD con q , pues a medida que la capacidad de producción aumente, lo hará también la distancia media a la que habrá que enviar el producto, al abastecer un mercado mayor.

Así pues, refiriéndonos a medidas de coste por unidad de producto, el coste directo de producción (CDP_u) decrecerá y el coste unitario de distribución (CDD_u) crecerá, por lo que la suma de ambos, el coste unitario directo total ($CDTu$), pasará por un mínimo (véase figura 3.3), que nos dará pues la dimensión óptima global de la planta de acuerdo con su capacidad, dimensión medida en costes y, por tanto, respetando el objetivo de beneficio (por CDP), además del volumen de ventas (por q).

Esta dimensión óptima para la que el coste de cada unidad de producto será mínima incidirá en dos aspectos determinantes: la capacidad q y la distancia media a la que se podrá llegar con los productos de una planta dada y, por tanto, el mercado posible a abastecer, por lo que la solución obtenida nos informará asimismo de hasta qué punto convendrá centralizar la producción en una sola planta o, por el contrario, distribuirla en varias plantas.

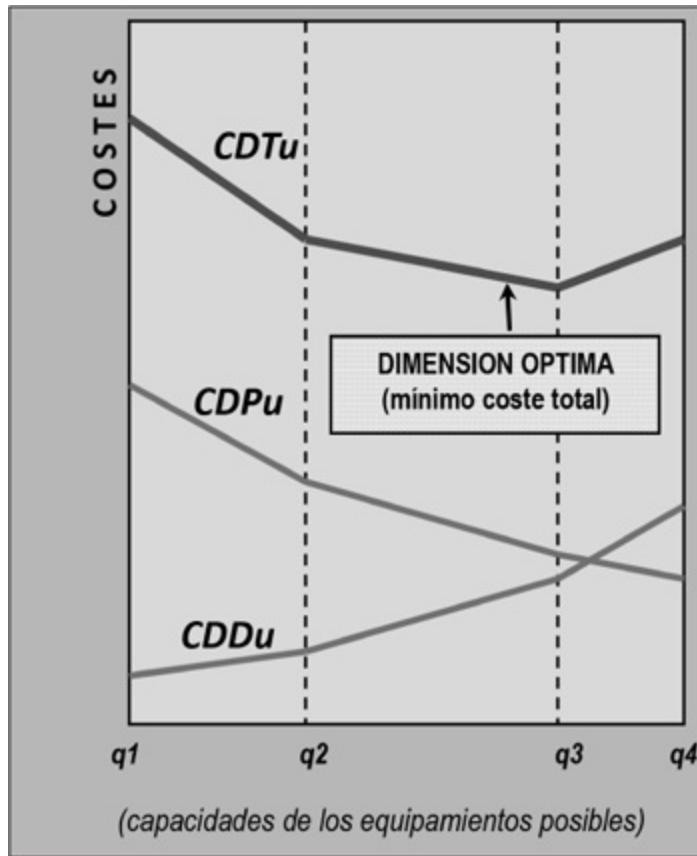


Figura 3.3. Dimensionado de una planta basado en los costes.

Veámoslo aplicado a un caso ejemplo, para lo que tomaremos una planta tipo taller, fabricante de armarios metálicos. La planta en cuestión se equipará con todas las máquinas y equipos que muestra la tabla de la figura 3.4.

Las alternativas de dimensionado por capacidad se relacionarán con el ámbito de mercado alcanzado: local, regional, nacional y exportación; la capacidad necesaria para cada uno y los equipos requeridos se hallan asimismo en la citada tabla; además, figuran también en ella las distancias medias y el coste en euros por kilómetro para cada alternativa, que variará de una a otra (por la influencia de los medios de transporte y las distancias).

Las cantidades correspondientes al total de costes fijos que imputar anualmente (dado que las capacidades q se miden en unidades de producto por año) por tipos de equipamiento son en euros:

- Prensa: 10.000 €
- Tronzadora: 3.000 €
- Taladro: 2.000 €

EQUIPOS	Local	Regional	Nacional	Exportación
Capacidad anual q	750	1.800	15.000	32.000
Distancia media (km)	40	100	400	1.200
Coste medio (€/km)	0,5	0,4	0,15	0,1
Prensas	1	2	2	3
Tronzadoras	1	1	2	2
Taladros	1	1	2	3
Equipos soldadura	2	3	4	6
Equipos pintura	1	1	2	2
Mesas de ensamblaje	1	2	3	5
Estanterías y otros (€)	5.000	7.500	10.000	20.000

Figura 3.4. Necesidades de equipamiento según alternativa de capacidad de taller.

- Equipo de soldadura: 1.500 €
- Equipo de pintura: 20.000 €
- Mesa para ensamblajes: 1.000 €

Con ello, la tabla de la figura 3.5 permite obtener el coste unitario total directo como suma de los de producción y distribución, teniendo en cuenta el coste variable para cada opción que figura en la columna correspondiente y el coste de transporte por kilómetro, que se reduce al crecer la distancia.

El mínimo coste total por unidad de producto se obtiene, como se aprecia en dicha figura, en la planta taller, cuya dimensión y capacidad corresponde a la que hemos denominado *taller nacional* (destacada en negrita y cursiva), cuyo ámbito de operaciones será el del país en el que está instalado, con una

distancia media de distribución de 400 kilómetros y preparado para una producción máxima de 15.000 armarios metálicos anuales. Los tipos de equipos que se ubicarían y las cantidades de los mismos son los que vemos en la tabla de la figura 3.4.

ALTERNATIVA	Capacidad q (ud./año)	Coste fijo CFP	Coste variable CVPu	Distanc. media mercado (km)	Coste ud. distribución	COSTE UD. TOTAL (CDTu)
Taller local	750	44.000	25	40	20	104
Taller regional	1.800	54.500	25	100	40	95
Taller nacional	15.000	89.000	25	400	60	91
Taller export.	32.000	116.000	25	1200	120	140

Figura 3.5. Determinación de la dimensión óptima por plantas.

Dado que la dimensión óptima ha coincidido con la creación de una planta que pueda cubrir el territorio nacional —debe considerarse de interés abarcar también los mercados de otros países—, será conveniente abrir otras plantas en ellos, que podrían dimensionarse de forma similar a como lo hemos hecho con la actual, con lo que podemos establecer no solo la dimensión óptima para el mismo sino, además, decidir el nivel de descentralización más conveniente.

Finalmente, aclaremos que lo expuesto se refiere exclusivamente a la globalidad de la planta; el dimensionado en detalle de superficies y equipos necesarios para cada proceso a efectuar en ella lo abordaremos en este mismo capítulo, cuando nos ocupemos en detalle de los procesos correspondientes.

3.4. Localización de los sistemas productivos y sus plantas

Otro de los aspectos determinantes en el diseño integral de plantas es la localización de las mismas. En los epígrafes anteriores hemos podido comprobar cómo la localización influye en el dimensionado, especialmente en lo que concierne al coste de la distribución.

En la actualidad, el problema de la localización ha adquirido un inusitado interés debido a la tendencia a la globalización, que hace que las empresas se planteen frecuentemente la localización de sus plantas, no solo en el ámbito local, regional o de un país, sino incluso en el mundial.

Varios son los factores que influyen en ello, como es el caso del coste de la mano de obra, que suele ser barata en países en vías de desarrollo. Sin embargo, no puede considerarse aisladamente un solo factor, tal como éste, y olvidar las infraestructuras, la tecnología, las comunicaciones y, por supuesto, la formación, la experiencia y el nivel cultural del país o región.

La localización, en el caso de plantas industriales, pretende, sobre todo, minimizar costes, mientras que los servicios enfocan la solución preferentemente a maximizar ingresos; de hecho, la solución más completa debería contemplar ambos aspectos y centrarse en los beneficios. Como aspectos determinantes en la localización de las plantas de producción destacaremos:

- ✓ Disponibilidad y coste del suelo
- ✓ Disponibilidad y calificación de la mano de obra
- ✓ Disponibilidad de personal directivo y técnico
- ✓ Mercados para el producto acabado accesibles desde la localización
- ✓ Aprovisionamiento de los materiales necesarios, su disponibilidad y precio
- ✓ Comunicaciones: tipos y niveles
- ✓ Sistemas de transporte y facilidades
- ✓ Disponibilidad de la tecnología necesaria
- ✓ Salarios y clima social
- ✓ Reglamentaciones e impuestos

Además de estos aspectos, más o menos tangibles, hay otros intangibles que pueden tener su importancia en la localización, tales como el nivel cultural, los servicios disponibles, la actitud de la población, etc.

Debido a la existencia de diversos factores determinantes de la localización de las plantas productivas, es habitual plantearse varios objetivos y elegir por comparación entre los resultados agregados después de ponderarlos. La determinación de la localización por utilización de magnitudes ponderadas tiene la ventaja de poder incluir en el problema todos los aspectos que se consideren de interés y no solo los relacionados con la localización, estrictamente.

Veamos cómo puede determinarse la localización a partir de soluciones que tratan de optimizar factores o aspectos concretos, debidamente ponderados. Por ejemplo, la tabla de la figura 3.6 permite comparar tres soluciones de localización en función de cuatro objetivos, que se corresponden con factores influyentes entre los ya comentados. La citada tabla utiliza coeficientes de ponderación debido al distinto peso de los objetivos, además de compensar las diferencias entre los valores numéricos utilizados, a fin de que sean comparables.

OBJETIVOS y su PONDERACIÓN	Solución 1	Solución 2	Solución 3
Distancia media a mercados producto acabado	50	110	15
<i>Ponderación (negativa: -1 a -5)</i>	- 4		
Distancia media a suministradores materiales	80	50	100
<i>Ponderación (negativa: -1 a -5)</i>	- 5		
Transportes y comunicaciones eficientes (1-10)	8	8	5
<i>Ponderación (1-50)</i>	50		

Disponibilidad/calificación mano de obra (1-10)	9	7	8
<i>Ponderación (1-50)</i>	30		
VALOR TOTAL PONDERADO »	7 0	- 8 0	- 7 0

Figura 3.6. Tabla de decisión de localización por ponderación.

Además, algunos coeficientes de ponderación pueden ser negativos, caso de la distancia, que cuanto mayor es, peor es su influencia.

Finalmente, la mejor opción, de acuerdo con los objetivos fijados y sus ponderaciones, es la solución 1 (valor ponderado total más elevado).

3.4.1. Localización e influencia de los aprovisionamientos y mercados

Uno de los aspectos importantes para la localización de las plantas de producción es el aprovisionamiento y la situación de los mercados.

Un modelo de localización que los tiene en cuenta es el que trata de minimizar el desplazamiento total de materiales y productos, al ubicar el centro productivo cuya localización tratamos de resolver en el denominado *centro de gravedad*. Éste es un punto de un sistema cartesiano a escala, determinado a partir de la situación de los proveedores, centros de distribución, clientes y otros con los que se intercambiaran mercancías, que tendría como coordenadas:

$$G_x = \frac{\sum_k D_{x_k} \cdot Q_k}{\sum_k Q_k} \quad G_y = \frac{\sum_k D_{y_k} \cdot Q_k}{\sum_k Q_k}$$

donde D_{x_k} y D_{y_k} son las coordenadas de cada uno de los centros k involucrados en tráfico de mercancías, con el centro productivo a ubicar y siendo Q_k el volumen de mercancías desplazado. Es evidente que en este método, el volumen de materiales y productos transportados y las distancias a las que se mueven son los factores clave para la elección de la localización.

3.5. Dimensionado de una planta de producción: determinación de la cantidad de máquinas y equipos necesarios

Para obtener las cantidades de máquinas y equipamientos diversos necesarios para la operativa de una planta de producción, nos basaremos en la cantidad de producto y las horas requeridas en cada puesto, tal como indica la tabla de la figura 3.7, en la que se utiliza la siguiente nomenclatura:

- Total de horas en el puesto i para procesar una unidad del producto j : h_{ij} .
- Total de unidades del producto j a procesar en el puesto i : N_{ij} .
- Total de horas en el puesto i para procesar todos los productos: H_i .
- Total de equipos necesarios en el puesto i : E_i .

El número de equipos necesario se determinará como sigue:

$$E_i = \frac{H_i}{h_{ef}}$$

siendo:

$$H_i = \sum_j (N_{ij} \times h_{ij}); \quad H_{ef} = H_0 \times A \times P$$

donde:

H_{ef} = Número de horas efectivas en el puesto

H_0 = Número de horas operativas en el puesto

A = Coeficiente de absentismo

P = Coeficiente de productividad media en el puesto

PRODUCTOS	PUESTOS DE TRABAJO			
	A	B	.....	M
1	h_{A1}, N_{A1}	H_{B1}, N_{B1}	.....	H_{M1}, N_{M1}
2	h_{A2}, N_{A2}	H_{B2}, N_{B2}	.....	H_{M2}, N_{M2}
.....			
p	h_{Ap}, N_{Ap}	H_{Bp}, N_{Bp}	.....	H_{Mp}, N_{Mp}
Total horas	H_A	H_B	.....	H_M
Total equipos	E_A	E_B	.....	E_M

Figura 3.7. Evaluación de los equipos necesarios por puestos.

De ser necesario, se podría incluir, además, cualquier otro coeficiente.

3.6. Evaluación de la superficie necesaria en una planta: *método de Guerchet*

Continuando con el dimensionado en detalle del sistema productivo, vamos a evaluar la superficie necesaria para una planta de producción. De acuerdo con el *método de Guerchet*, la superficie total vendrá dada por la suma de tres superficies (figura 3.8):

1. Superficie estática: S_{es} . Ésta es la superficie productiva, es decir, la que ocupa físicamente la maquinaria, el mobiliario y las demás instalaciones.

2. Superficie de gravedad: S_g . Se trata de la superficie utilizada por el personal que está trabajando y por el material que está procesándose en un puesto de trabajo. Se obtiene multiplicando la superficie estática por el número de lados (n) de ésta que deban estar operativos, es decir, por los que se utilizará la máquina: $S_g = S_{es} \times n$. En el caso que se estudiara la superficie de un almacén, consideraríamos esta superficie nula, ya que con los stocks no se opera, solo se transportan. Algo similar ocurriría si las máquinas en estudio fueran automáticas. En el caso de que se opere con distribución en flujo, el número de lados operativos suele ser de uno solo; en la figura sería el que está debajo de la superficie estática, ya que a la izquierda y derecha de la misma se encuentran otros equipos productivos conectados directamente al propio.
3. Superficie de evolución: S_{ev} . Contempla la superficie necesaria que reservar alrededor de los puestos de trabajo para el movimiento del personal y del material y sus medios de transporte. Se obtiene como suma de la superficie estática más la de gravedad afectada por un coeficiente k . Este coeficiente variará en función de la proporción entre el volumen del material y personal que se esté moviendo entre los puestos de trabajo y el tamaño de las máquinas de dichos puestos, es decir, del cociente de la cota del elemento de transporte (que suele ser la anchura) por la cota media de la máquina.

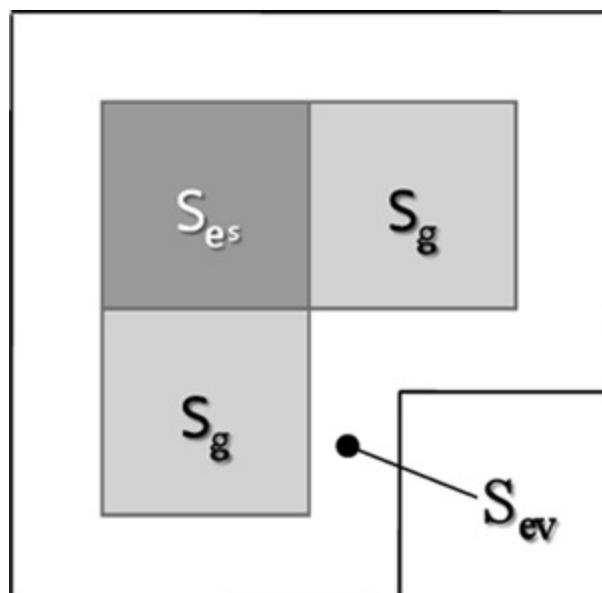


Figura 3.8. Superficies de Guerchet.

A modo de ejemplo, en la tabla de la figura 3.9 se dan una serie de valores del coeficiente k para plantas que operan con una distribución tipo funcional o taller.

En el caso de distribución en flujo o cadena, la superficie de evolución se concentra delante y detrás de la máquina o equipo productivo, y muy poco o nada a ambos lados de la misma, donde se hallarán las máquinas o equipos anterior y posterior en la cadena productiva. De acuerdo con lo expuesto, pues, la superficie de evolución vendrá determinada por:

TIPOS DE ACTIVIDAD PRODUCTIVA	k
Gran industria, alimentación y evacuación mediante grúa puente	0,05 a 0,15
Trabajo en cadena, con transportador aéreo	0,1 a 0,25
Textil, hilados	0,05 a 0,25
Textil, tejidos	0,5 a 1
Relojería y joyería	0,75 a 1
Pequeña mecánica	1,5 a 2
Industria mecánica	2 a 3

Figura 3.9. Coeficientes para la superficie de evolución.

$$S_{ev} = (S_{es} + S_g) \times k.$$

Un factor que se debe considerar es el de los materiales que se almacenan junto a la máquina en espera de ser procesados: si el volumen de éstos es relativamente pequeño, no afectará a la superficie calculada, pero si se trata de lotes voluminosos, deberá calcularse la superficie por separado, como en el

caso de cualquier tipo de stock, y sumarla a la superficie total.

Así pues, teniendo en cuenta los tres tipos de superficie considerados, la superficie total S_t que debe destinarse por puesto de trabajo vendrá dada por:

$$\begin{aligned} S_t &= S_{es} + S_g + S_{ev} = S_{es} + (S_{es} \times n) + [S_{es} + (S_{es} \times n)] \times k = \\ &= S_{es} \times [1 + n + k + (n \times k)] \end{aligned}$$

A modo de ejemplo, para ilustrar la aplicación de este método, plantearemos la evaluación de la superficie necesaria para un taller, en el que tenemos que ubicar una serie de equipos de producción con sus puestos. Siendo éste un taller mecánico y tomando $k=2$, obtendremos la superficie total S_T que sigue:

Puestos de trabajo	S_{es} (m ²)	n	S_g (m ²)	S_{ev} (m ²)	S_t (m ²)
Prensa	2,5	1	$2,5 \times 1 = 2,5$	$(2,5 + 2,5) \times 2 = 10$	15
Cizalla	1,8	3	$1,8 \times 3 = 5,4$	$(1,8 + 5,4) \times 2 = 14,4$	21,6
Punzonadora	1,2	2	$1,2 \times 2 = 2,4$	$(1,2 + 2,4) \times 2 = 7,2$	10,8
Superficie total: S_T (m²) »				47,4	

Finalmente, para la evaluación de la superficie a ocupar no debemos olvidar añadir a la superficie total S_T anteriormente definida la correspondiente a los centros técnicos no productivos y a los almacenamientos.

3.7. Distribución de los equipos y sus puestos en una planta productiva. Método de los eslabones

Entrando más en detalle, corresponde ahora encontrar la distribución óptima

de las operaciones de los procesos, con sus puestos de trabajo y máquinas. Para ello reduciremos al mínimo los transportes entre ellas, a través de las trayectorias que las unen, que llamaremos *eslabones*. El caso más complejo es el de una planta con diversos circuitos de materiales entre puestos, referidos a producciones distintas, es decir, con implantaciones de tipo funcional o taller. Para las implantaciones en flujo o cadena, consideraríamos cada proceso como una unidad y así estudiaríamos cómo disponer los procesos entre sí, en lugar de hacerlo con los puestos. Estos procesos en flujo hacen siempre el mismo tipo de producción, pero con variantes, modelos o referencias, y pueden recibir componentes de diversos procesos e, incluso, entregarlos a otros también distintos.

Con el fin de lograr una mayor claridad a la hora de explicar este método, nos serviremos de un ejemplo práctico. Sea una planta con organización tipo taller —el caso más complejo— en la que se fabrican tres productos (A, B, C) y en la que disponemos de diez puestos de trabajo (numerados del 1 al 10). Las gamas o secuencia de puestos que intervienen en cada producto son las de la tabla de la figura 3.10, por lo que los enlaces (eslabones) entre puestos de trabajo serán los de la tabla de la figura 3.11.

PRODUCTO ORDEN DE LOS PUESTOS DE TRABAJO									
A	1	2	3	4	5	6	7	10	
B	2	3	4	2	8	9	10		
C	5	8	3	4	10				

Figura 3.10. Secuencia de puestos por productos.

PIEZAS		ORDEN DE LOS ESLABONES					
A	1 - 2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6	6 - 7	7 - 10
B	2 - 3	3 - 4	4 - 2	2 - 8	8 - 9	9 - 10	
C	5 - 8	8 - 3	3 - 4	4 - 10			

Figura 3.11. Enlaces (eslabones) entre puestos de trabajo.

Seguidamente, haremos uso de la *matriz o cuadro de eslabones*, que nos permitirá determinar la frecuencia con que aparecen los distintos eslabones. Para ello se anotará, con el símbolo X, todos y cada uno de los eslabones en esta matriz de doble entrada, sin tener en cuenta la dirección del camino en la que tienen lugar los enlaces. Así, retomando nuestro ejemplo, construiríamos el cuadro de eslabones de la figura 3.12.

Obsérvese que en la diagonal del cuadro de eslabones hemos sumado, para cada puesto de trabajo, el número de enlaces o eslabones a realizar, es decir, hemos efectuado la suma por filas y columnas de las X que hay. Por ejemplo, el puesto de trabajo 2 tiene 5 eslabones: 1-2, 2-3, 2-3, 4-2 y 2-8 (señalados con un fondo tramado en la figura).

Partiendo del cuadro, el siguiente paso será diseñar la disposición de los puestos para reducir al mínimo la importancia de los transportes, lo que se llevará a cabo teniendo en cuenta los valores obtenidos en la diagonal del cuadro de eslabones, al situar más juntos aquellos puestos de trabajo con mayor número de enlaces entre sí. El procedimiento a seguir será el siguiente:

Figura 3.12. Cuadro de eslabones.

1. Empezaremos por colocar el puesto de trabajo con mayor número de enlaces en el centro de la distribución, que podemos representar en un esquema con reticulado rectangular, triangular, hexagonal, etc. En nuestro ejemplo, el puesto elegido podría ser tanto el 3 como el 4 (con fondo oscuro en su celda en la diagonal del cuadro). Alrededor de este puesto central se situarán aquellos puestos que tengan una relación más fuerte con él, es decir, un mayor número de uniones. Así, si el puesto central es el 4, el puesto 3, con el que tiene tres eslabones, estará lo más próximo posible, lo mismo que los puestos 2, 5 y 10, que también tienen enlaces con el puesto 4.

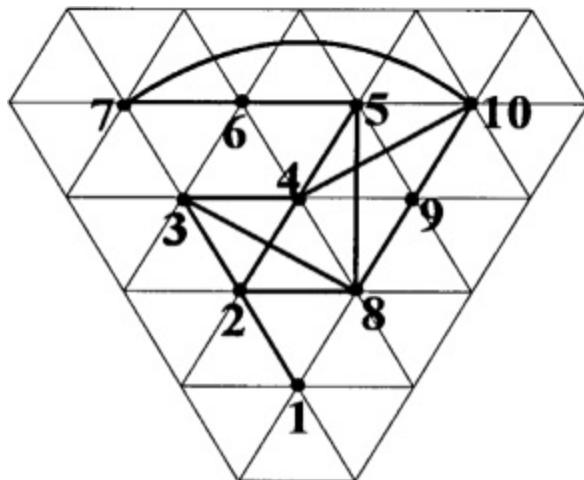


Figura 3.13. Implantación sobre retícula triangular.

2. Finalmente, trataremos de situar alrededor de los puestos con enlaces con el central (los ya citados) aquellos puestos que enlacen con ellos. Este último paso se irá repitiendo sucesivamente hasta haber colocado todos los puestos existentes, aunque se tendrá en cuenta que algunos de ellos pueden precisar una ubicación especial predeterminada o condicionada.

Tal como podemos deducir, no existirá una solución única, ya que dependerá del criterio que escojamos. Así, por ejemplo, la figura 3.13 muestra una posible solución basada en una retícula triangular.

Ahora bien, hasta el momento hemos supuesto la misma complejidad en

todos los eslabones, es decir que el flujo de materiales en todos los enlaces era de la misma importancia. Sin embargo, este caso no será el más usual, ya que puede haber eslabones por los que circulen una mayor cantidad de piezas que en otros, o puede ser también que, a igualdad de volumen de piezas, las que pasen por determinados eslabones sean más pesadas y difíciles de transportar que las que circulen por otros, etc. Por tanto, deberemos ponderar la cuantía de los eslabones para tener en cuenta estos distintos niveles de importancia.

En este sentido, introduciremos en nuestro ejemplo los volúmenes de producción de las distintas piezas y su tamaño relativo. En este caso, podríamos establecer como criterio a efectos de ponderación el producto de las unidades producidas por su tamaño relativo, lo que hemos hecho en la tabla de la figura 3.14.

PIEZAS	UNIDADES POR DÍA	TAMAÑO RELATIVO	FACTOR PONDERACIÓN: unidades x tamaño
A	40	1	40
B	7	3	21
C	35	1,6	56

Figura 3.14. Factor de ponderación que integra dos aspectos.

En dicha tabla, hemos introducido, junto a cada una de las piezas que ya componían el caso anterior, el volumen de producción diario, el tamaño relativo de cada una, a fin de distinguir la dificultad de acarrear unas u otras, y hemos obtenido un factor de ponderación de su importancia que tiene en cuenta ambos aspectos, por cuanto se obtiene por producto de los dos.

El cuadro de eslabones, ponderado de esta forma, recibe el nombre de cuadro de *intensidades de tráfico* (o *cuadro de tránsito*). La figura 3.15 presenta el cuadro de tránsito del caso que nos ocupa.

Una vez obtenido este cuadro, procederíamos del modo anteriormente descrito a propósito del cuadro de eslabones.

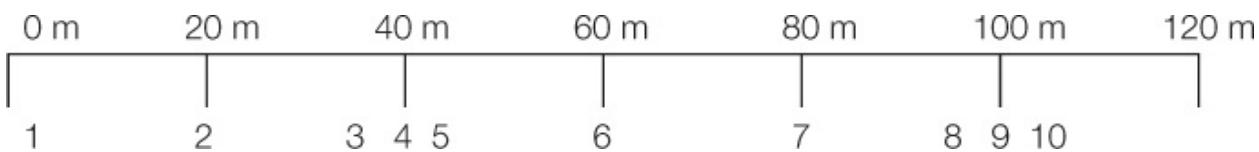
Una vez realizada la distribución de la planta como se ha expuesto, el paso siguiente sería efectuar un cuadro de tránsito modificado en el que se reflejen

las distancias entre puestos y el sentido en que tiene lugar el tránsito, lo que permitirá obtener datos de gran relevancia.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10				56			40		21	117
9								21	42	
8		21	56		56			154		
7						40	80			
6					40	80				
5				40	136					
4		21	40 21 56	234						
3		40 21	234							
2	40	143								
1	40									

Figura 3.15. Cuadro de tránsito.

En esta línea, continuando con el ejemplo inicial, supondremos los puestos de trabajo 1 a 10 situados en orden y con la escala de distancias siguientes:



Emplearemos un *cuadro de intensidades de tráfico* formando un rectángulo completo, en el que podremos separar los dos sentidos de circulación e incluiremos la escala de distancias entre puestos, de acuerdo con lo expresado en el párrafo anterior. La figura 3.16 representa este cuadro de intensidades,

con el que podremos concluir que:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10				56			40		21	
9									21	
8		21			56					
7						440				40
6					40					
5				40						
4			117							
3		61							56	
2	40				21					
1										

Figura 3.16. Cuadro de intensidades de tráfico con escala de distancias.

- Los trayectos que parten de un puesto están sobre la vertical del mismo.
- Los trayectos que convergen en un puesto se encuentran sobre la horizontal del mismo.
- Los trayectos en sentido de circulación inverso al normal se

- encuentran por debajo de la diagonal del cuadro.
- Los trayectos que suponen mayores desplazamientos son los más alejados de dicha diagonal.

En un caso ideal deberíamos intentar que:

- Todos los trayectos se encuentren por encima de la diagonal, para evitar así retrocesos.
- Todos los trayectos estén lo más cerca posible de la diagonal, para lograr así desplazamientos cortos.

En el supuesto que deseemos organizar la distribución de varias naves en conjunto, debido a que los circuitos de tránsito así lo exijan, podemos plantear cuadros de tránsito entre naves tal como el que muestra la figura 3.17.

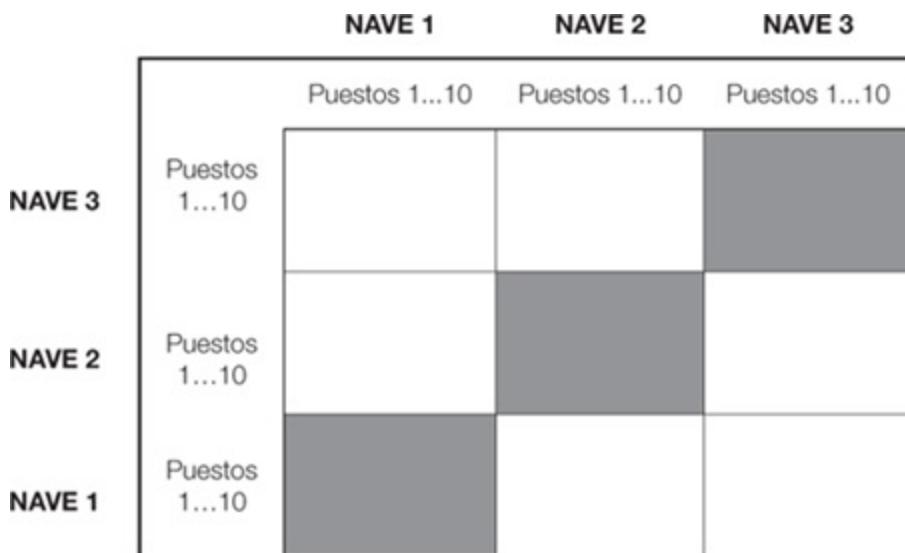


Figura 3.17. Distribución que involucra varias naves.

Podemos observar que los puestos de trabajo se encuentran agrupados por naves. En cada uno de los cuadros sombreados plantearíamos el método de eslabones con las intensidades de tráfico existentes en el interior de cada nave. En cuanto a los demás cuadros, éstos se utilizarían para reflejar los desplazamientos entre puestos de trabajo de diferentes naves. El conjunto de todo ello constituiría un análisis idéntico al estudiado anteriormente cuando considerábamos una única nave.

Así pues, en el nivel de abstracción más elevado, podemos reemplazar el concepto de distribución de puestos de trabajo (para implantaciones tipo taller) o de procesos completos (para implantaciones en flujo) dentro de una planta por el de distribución de subplantas o secciones dentro de una planta. En este caso, el concepto de eslabón sigue siendo válido y aplicable, solo que ahora unirá subplantas enteras en lugar de puestos de trabajo o procesos en flujo.

A partir de las soluciones obtenidas en la implantación sobre retícula y del dimensionado de los centros contenidos en ellas, se obtendrán las posibles soluciones de la distribución en planta, que deberán compararse entre sí para elegir la mejor. Para lograr una mayor claridad se mostrará, a continuación, cómo aplicar todo ello a un caso práctico completo.

3.8. Obtención de las posibles soluciones. Caso práctico

Vamos a aplicar la metodología para obtener la distribución en planta global con los servicios anexos necesarios sobre un caso práctico; la producción de una variedad de productos en una planta tipo taller: armarios metálicos, carritos portapiezas, caballetes, depósitos metálicos y rejas metálicas, con las máquinas y equipos que precisen y las operaciones correspondientes.

Se prevé que la planta ocupe una superficie de 3.000 m² en un polígono industrial. Se proyectará para una producción anual de 100.000 unidades, que supondrán un total de 50 t de producto acabado y, a su vez, unas necesidades de 60 t de materias primas. Se ha previsto, asimismo, la contratación de 100 operarios, 30 empleados de oficinas y una plantilla de 10 directivos.

La planta se compondrá de los centros de trabajo que siguen, debidamente numerados para poder desarrollar la solución con mayor comodidad:

1. Almacén de materias primas.
2. Almacén de seguridad para gas de soldadura, pinturas y disolventes.
3. Almacén móvil de productos y preparación de soldadura y pintura.
4. Taller mecánico (tronzadora y taladro) y de prensas.
5. Soldadura por puntos.
6. Departamento de Pintura.

7. Soldadura eléctrica por hilo continuo y autógena.
8. Mesas de ensamblaje y control de calidad y verificación.
9. Departamento de Embalaje y Expediciones.
10. Aparcamiento.
11. Comedores.
12. Vestuario.
13. Departamento de Diseño y Desarrollo de Productos.
14. Oficinas, administración, planificación y dirección.
15. Salidas y entradas al exterior (accesos).

El almacén 2 se ubicará apartado de los demás centros, en aras de una mayor seguridad, y el almacén 3 se dispondrá como centro más próximo para evitar tránsitos innecesarios por el 2, que se derivarán hacia el 3.

La secuencia de fabricación de la planta es la que viene reflejada en el gráfico de la figura 3.18, que representa el *diagrama de precedencias* que cumple con la secuencia de operaciones de los productos a fabricar. La doble salida desde el centro 4 (taller mecánico y de prensas) se debe a que solo algunas piezas que en éste se producen han de ser llevadas al taller de soldadura eléctrica (centro 7), ya que los cuerpos y puertas de los armarios se sueldan por puntos (centro 5). Pese a esta secuencia tan similar para todos los productos, el proceso se llevará a cabo sobre una distribución por talleres —lo que supone que los centros pueden albergar varias máquinas o equipos del mismo tipo—, aunque el ensamblaje final pueda hacerse en cadena, realizar la producción de cada centro-taller por lotes y mantener un stock en cada uno de ellos para la operativa con este tipo de implantación.

La secuencia del proceso mostrado es, pues, una secuencia de talleres que intervienen en él. De ahí que sea un proceso aparentemente muy sencillo, ya que, de hecho, cada uno de los centros-talleres que componen la secuencia que presentamos está constituido, a su vez, por un conjunto de máquinas.

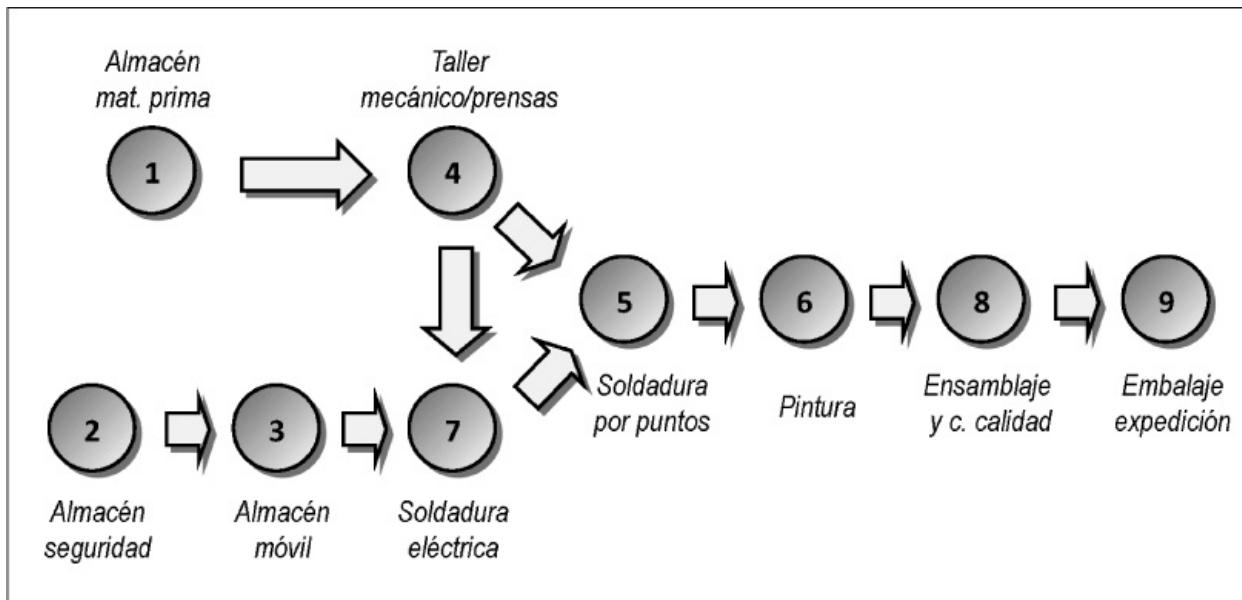


Figura 3.18. Diagrama de flujo del proceso la planta.

El siguiente paso consistirá en construir el cuadro de tránsitos por centros en los que, en este caso, reflejaremos tanto los tránsitos de personas como los de materiales. La figura 3.19 muestra dicho cuadro, en el que se observa que los centros que soportan el mayor tráfico de materiales son, en primer lugar, el almacén de materias primas y, luego, el taller mecánico y de prensas. En cuanto al tránsito de personal se refiere, el tráfico se concentra en el aparcamiento y, en menor medida, en el vestuario.

Todo ello nos permitirá realizar múltiples propuestas de implantaciones con la ayuda de un reticulado triangular, de las que presentaremos tres posibles soluciones, y perseguiremos en todo momento acercar al máximo los centros que soportan un mayor tráfico entre sí, pero sin olvidar la secuencia de operaciones de los procesos productivos de dicha planta.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
15	60 -	6 -							50 -	- 140					116 140
14									- 4	- 26	- 16		- 6	- 52	
13								- 2		- 16	- 4		- 28		
12	- 8		- 5	- 20	- 17	- 18	- 14			- 82			- 164		
11	- 8		- 5	- 20	- 17	- 18	- 14	- 8	- 8		- 118				
10								- 8	- 8	- 280					
9									50 -	100 20					
8						50 -			100 18						
7			6 5	30 -	31 -			67 33							
6						50 -	100 36								
5					19 -	100 34									
4	60 4				109 44										
3		6 5	12 20												
2			12 5												
1	120 20														

Figura 3.19. Cuadro de tránsito del caso.

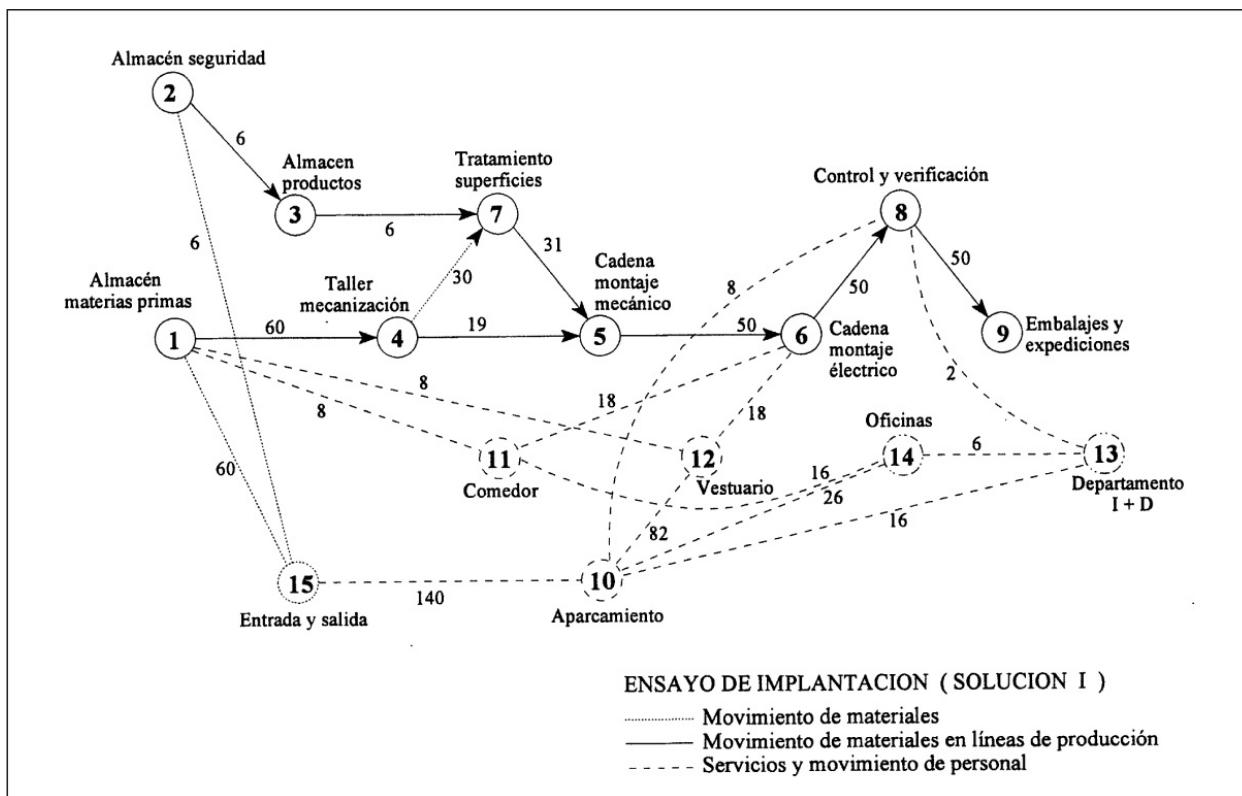
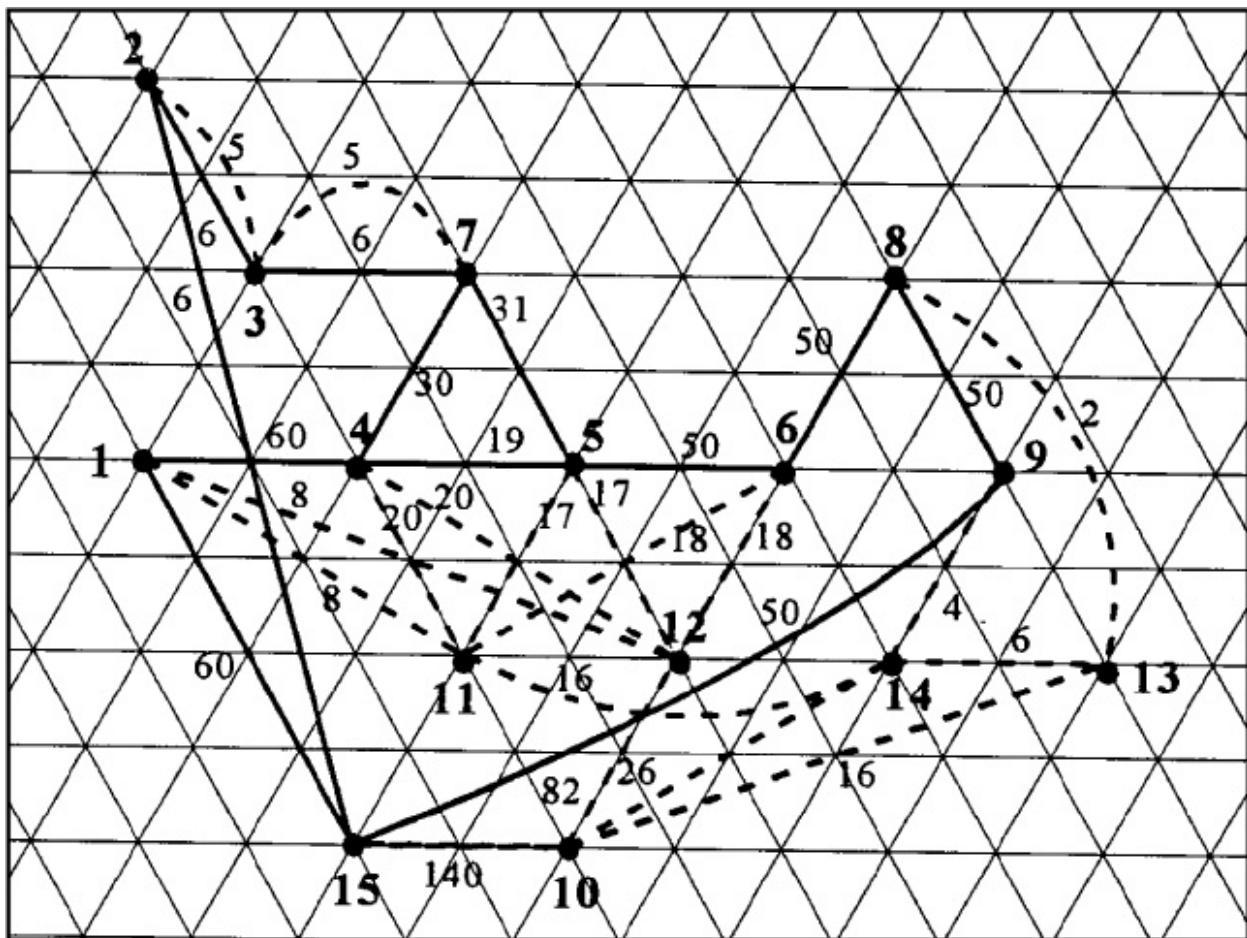


Figura 3.20. Propuesta de solución, sin retícula y con identificación de centros.



- **Centros de trabajo**
- **Tráfico de material (toneladas / año)**
- - - - . **Tráfico de personal (personas / día)**

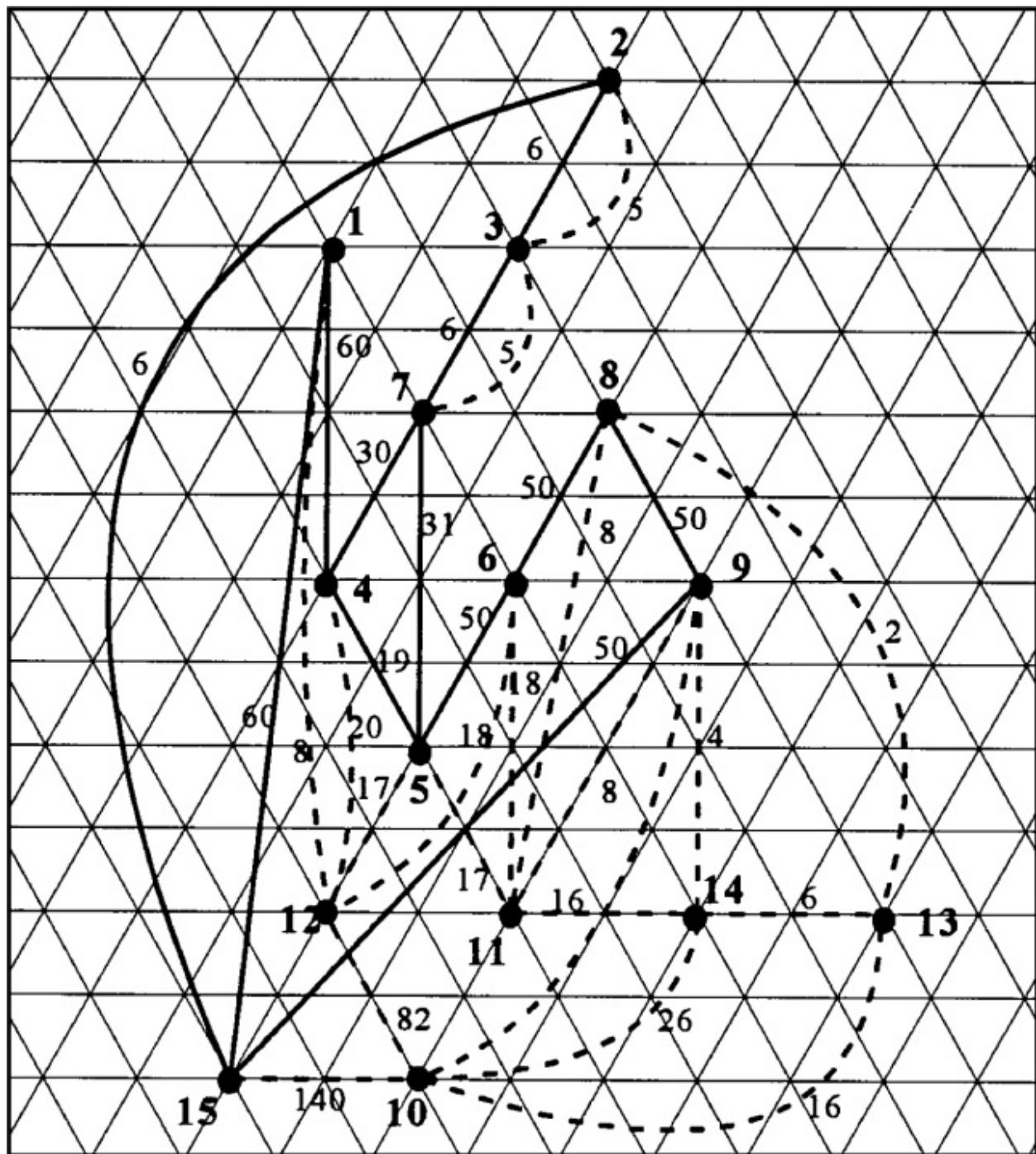
Figura 3.21. SOLUCIÓN I a la distribución en planta sobre retícula.

La figura 3.20 presenta el esquema de la primera de las soluciones a implantar sobre retícula triangular, aunque, de momento, sin la retícula, e identifica cada centro productivo o de servicios por su denominación, para poder comprender mejor la solución.

La figura 3.21 señala la solución sobre retícula triangular para la propuesta de la figura 3.20 y su implantación a escala a partir de las dimensiones de cada departamento. Las otras dos soluciones se muestran en las figuras 3.22 y 3.23. La implantación real a escala dará pie a convertir en un área o departamento con una superficie dada los puntos de la red en los que se propone cada

solución, todo ello a partir del cálculo de equipos, máquinas o puestos necesarios, realizado por el *método de Guerchet*.

A modo de ejemplo, realizaremos de forma detallada el dimensionado del taller de mecanización. Para ello partiremos de los siguientes datos generales:



Centros de trabajo

Tráfico de material (toneladas / año)

Tráfico de personal (personas / día)

Figura 3.22. SOLUCIÓN II a la distribución en planta sobre retícula.

- Horas productivas anuales por puesto: 2.000.
- Coeficiente de absentismo: 95 %.
- Coeficiente de productividad laboral: 90 %.
- Coeficiente de rendimiento de máquinas: 90 %.
- Coeficiente global de rendimiento: $0,95 \times 0,9 \times 0,9 = 0,77$.
- Número de horas efectivas por año: $2.000 \times 0,77 = 1.540$.

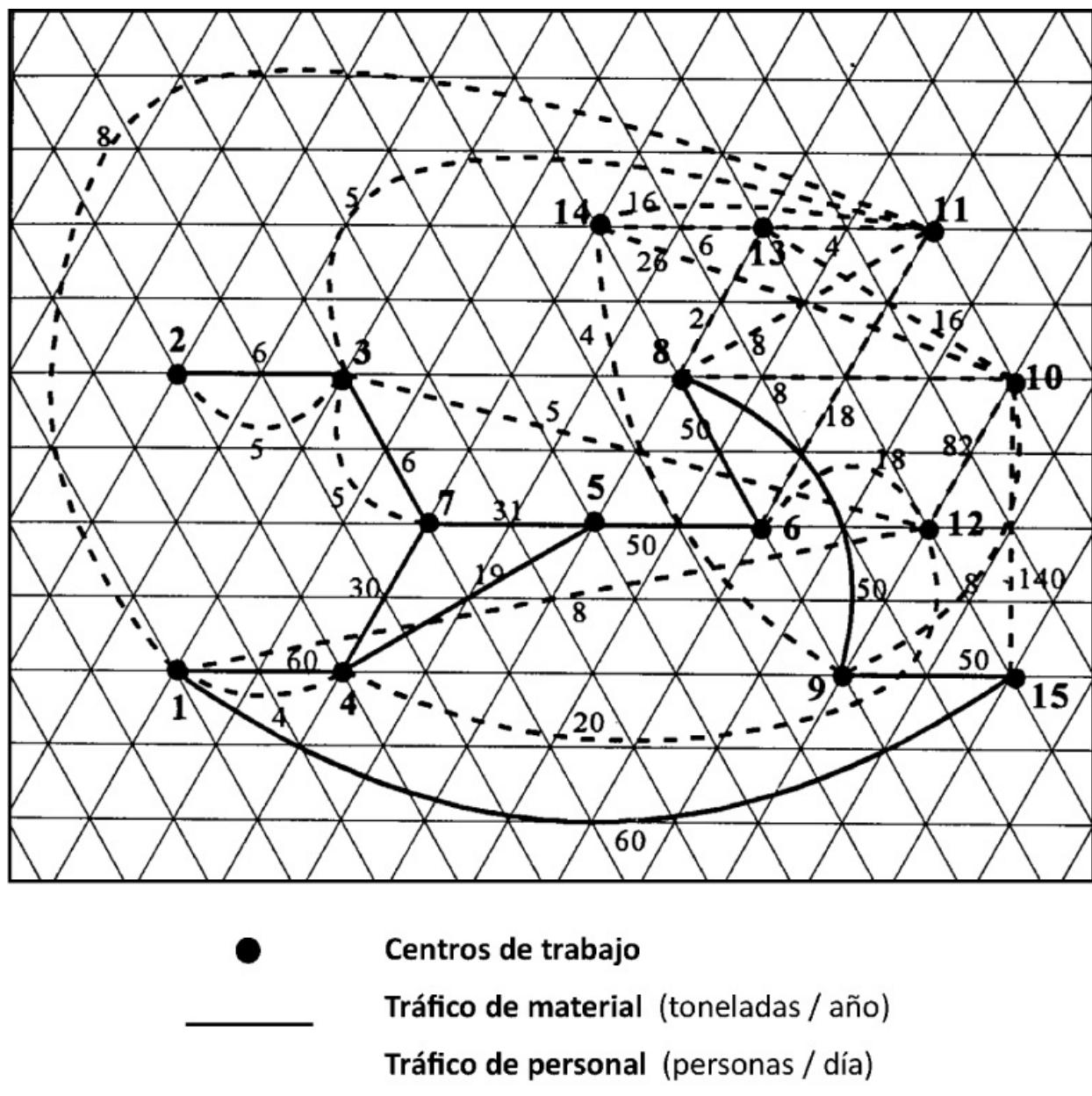


Figura 3.23. SOLUCIÓN III a la distribución en planta sobre retícula.

El cuadro de la figura 3.24 permite calcular las necesidades en tiempo de los equipos que conforman el taller mecánico: taladro(s), tronzadora(s), prensa(s) y también bancos de trabajo con herramientas, de los que veremos cuántas unidades se precisarán. Estas necesidades dependen de las operaciones a efectuar en cada producto y de las máquinas que intervengan en ellas; así, por ejemplo, sabemos que el armario metálico no tiene operación alguna de tronzadora, ni el carrito portapiezas, de taladro. Entonces, las máquinas que no intervienen en un producto no contienen valor alguno de tiempo de trabajo en el cuadro de la figura 3.24.

		E Q U I P O S											
		TALADRO			TRONZADORA			PRENSA			BANCO DE TRABAJO		
PRODUCTOS	Producción anual	Cantidad operaciones máxima	Tiempo máximo (segundos)	Tiempo total unidad	Cantidad operaciones máxima	Tiempo máximo (segundos)	Tiempo total unidad	Cantidad operaciones máxima	Tiempo máximo (segundos)	Tiempo total unidad	Cantidad operaciones máxima	Tiempo máximo (segundos)	Tiempo total unidad
Armario metálico	40.000	2	30	60	--	--	--	2	60	120	3	25	75
Caballete	8.500	--	--	--	16	22	352	--	--	--	6	20	120
Carrito portapiezas	7.500	--	--	--	24	28	672	1	40	40	7	20	140
Depósito metálico	12.000	3	44	132	--	--	--	1	40	40	2	60	120
Reja metálica	32.000	8	28	224	2	30	60	--	--	--	6	60	360
TOTALES	100.000	Total unidad (seg)		416	Total unidad (seg)		1.084	Total unidad (seg)		200	Total unidad (seg)		815
		Global (horas)		3.098	Global (horas)		2.764	Global (horas)		1.550	Global (horas)		5.008

Figura 3.24. Determinación de las necesidades en tiempo de los equipos productivos.

EQUIPO	HORAS AÑO	EVALUACION DE LA CANTIDAD	CANTIDAD DEFINITIVA
TALADRO	3.098	3.098 / 1.540 = 2,01	2 El pequeño exceso que falta se compensará con mayor productividad
TRONZADORA	2.764	2.764 / 1.540 = 1,79	2
			2

PRENSA	1.550	$1.550 / 1.540 = 1,006$	Se toman dos por previsión de ampliación y por doble aplicación: embutición y estampado
BANCO DE TRABAJO	5.008	$5.008 / 1.540 = 3,25$	4

Figura 3.25. Determinación de la cantidad de equipos necesarios de cada tipo.

De acuerdo con el número de horas de trabajo que se precisarán de cada equipo y teniendo en cuenta la disponibilidad efectiva de horas ya calculada (1.540), podemos determinar, tal como hacemos en el cuadro de la figura 3.25, la cantidad de equipos que se necesitarán de cada tipo.

Ahora deberemos evaluar la superficie necesaria para la ubicación de los equipos que, según acabamos de determinar, vamos a necesitar. La tabla de la figura 3.26 permite concretar las superficies que van a necesitarse, de acuerdo con los equipos precisos, pero también habrá que tener en cuenta otras superficies adicionales asimismo necesarias. Se trata de:

- Pasillo central con accesos (en el inicio y el fin) a otros talleres según proceso (podría haberse introducido como un elemento más en el cálculo).
- Zona mínima para posible ampliación futura que no exija invadir otros talleres (coeficiente de seguridad en el cálculo de superficies).

La figura 3.27 muestra el taller mecánico con su distribución interna. La superficie que ocupan las máquinas, pasillo y ampliación aparte es:

SUPERFICIES NECESARIAS PARA LOS EQUIPOS						
EQUIPO	Superficie ESTÁTICA (siempre rectang.) (m ²)	Superficie GRAVITACIÓN (para equipos iguales) (m ²) *	Superficie EVOLUCIÓN (k = 2) (m ²)	SUPERFICIE TOTAL por equipo (m ²)	CANTIDAD DE EQUIPOS	SUPERFICIE TOTAL GLOBAL por equipo (m ²)
Taladro	0,75	1,5	4,5	6,75	2	13,5
Tronzadora	1,25	2,5	7,5	11,25	2	22,5
Prensa	2	4	12	18	2	36,0
Banco trabajo	1,5	3	9	13,5	4	54,0
SUPERFICIE TOTAL (redondeada)						126

* La superficie de gravitación tendrá siempre doble cara adicional: una para trabajar y tener acceso para llevar a cabo el mantenimiento y otra para stocks y necesidades adicionales, si las hay, de mantenimiento. Los bancos de trabajo serán una excepción; solo tendrán una cara accesible y el pequeño stock preciso estará al lado del trabajador o sobre el banco y no habrá mantenimiento; la superficie ocupada será también rectangular

Figura 3.26. Determinación de la superficie necesaria para los equipos de producción.

$$(15,6-3) \times (12,5-2,5) = 12,6 \times 10 = 126 \text{ m}^2$$

Exactamente la que debía ser según se había calculado en el cuadro de la figura 3.26. Además, puede observarse que se ha previsto un pasillo y una posible ampliación, con superficies de $15,6 \times 2,5 = 39 \text{ m}^2$ el pasillo y $12,5 \times 3 = 37,5 \text{ m}^2$ la ampliación, lo que hace un total de $76,5 \text{ m}^2$, que, junto con los 126 ocupados por las máquinas, dan lugar a un total de $202,5 \text{ m}^2$ de superficie total ocupada por el taller mecánico.

Procederíamos igual con todos los demás centros de la planta, sean de producción o servicios anexos; una vez tengamos cada uno de ellos con su superficie, podremos, por fin, convertir las soluciones de la distribución en planta realizadas sobre retícula (con los centros indicados por puntos y por tanto sin ocupación física) en una planta real con una ocupación asimismo real.

Las figuras 3.28, 3.29 y 3.30 presentan las tres soluciones desarrolladas sobre la retícula, convertidas en las correspondientes distribuciones en planta, con los centros ocupando la superficie que les corresponde, toda vez que ya han sido debidamente dimensionados. En algunos casos, por motivos prácticos

relacionados con la propia distribución, se han asignado superficies mayores a las obtenidas si puede ser de interés y no afecta al conjunto, pero en ningún caso podrán ser menores. Ahora podemos pasar ya a la selección de la solución óptima.

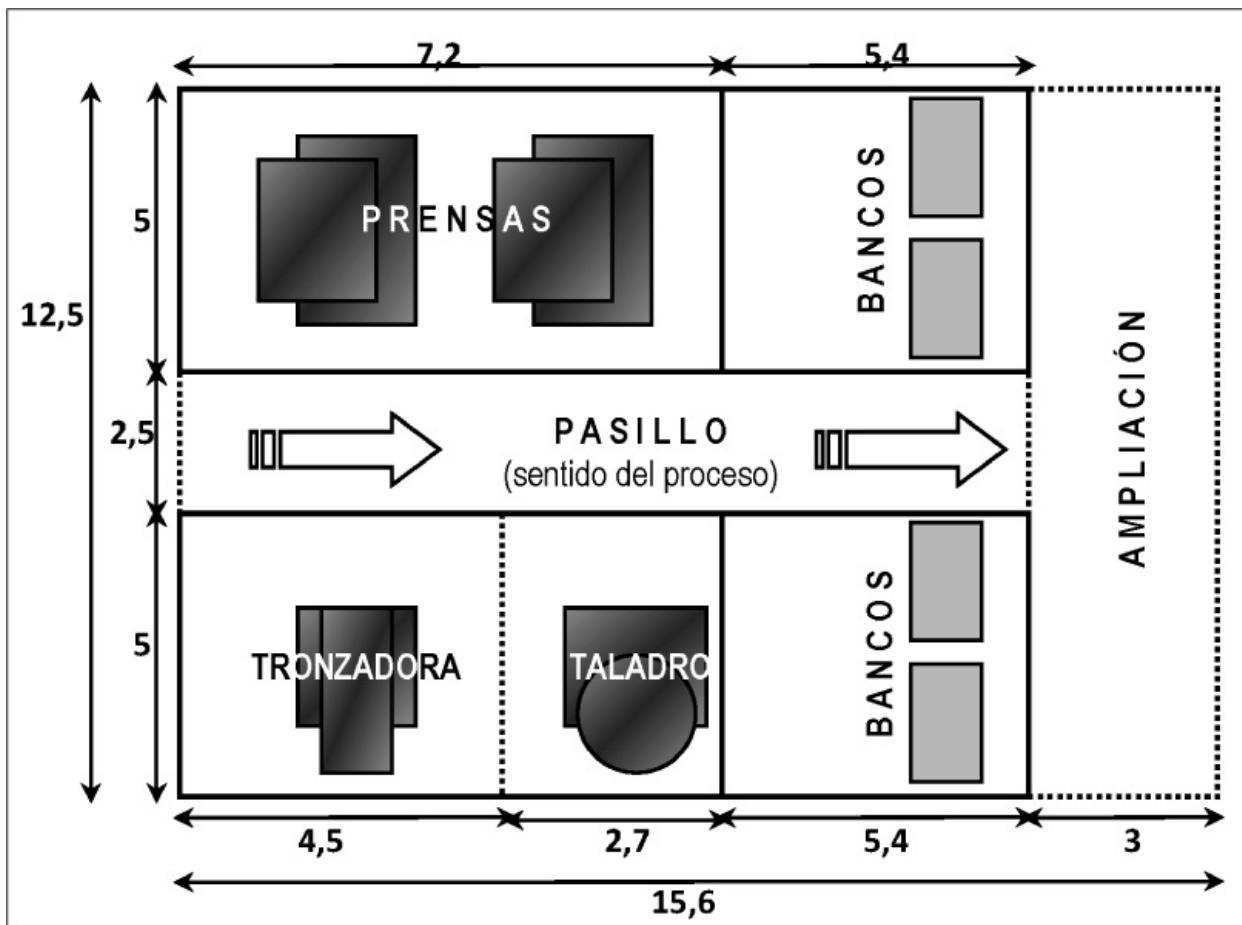


Figura 3.27. Distribución en planta del taller mecánico, con medidas de superficies.

Ésta es la última fase que nos permitirá obtener la distribución en planta definitiva, lo que se llevará a cabo a partir de la serie de soluciones que hemos desarrollado, que serán evaluadas atendiendo a los criterios que se juzgue convenientes en cada caso. Dichos criterios deberán ser ponderados según su importancia y establecer un sistema que los haga compatibles.

Muchos podrían ser los criterios sobre los que evaluar las soluciones. En general, podemos considerar de interés por su transcendencia los siguientes:

- Racionalidad de la implantación.

- Inversiones y costes relacionados con la implantación.
- Costes de funcionamiento del conjunto.
- Flexibilidad a cambios y ampliaciones.
- Superficie libre y facilidades para ampliaciones.

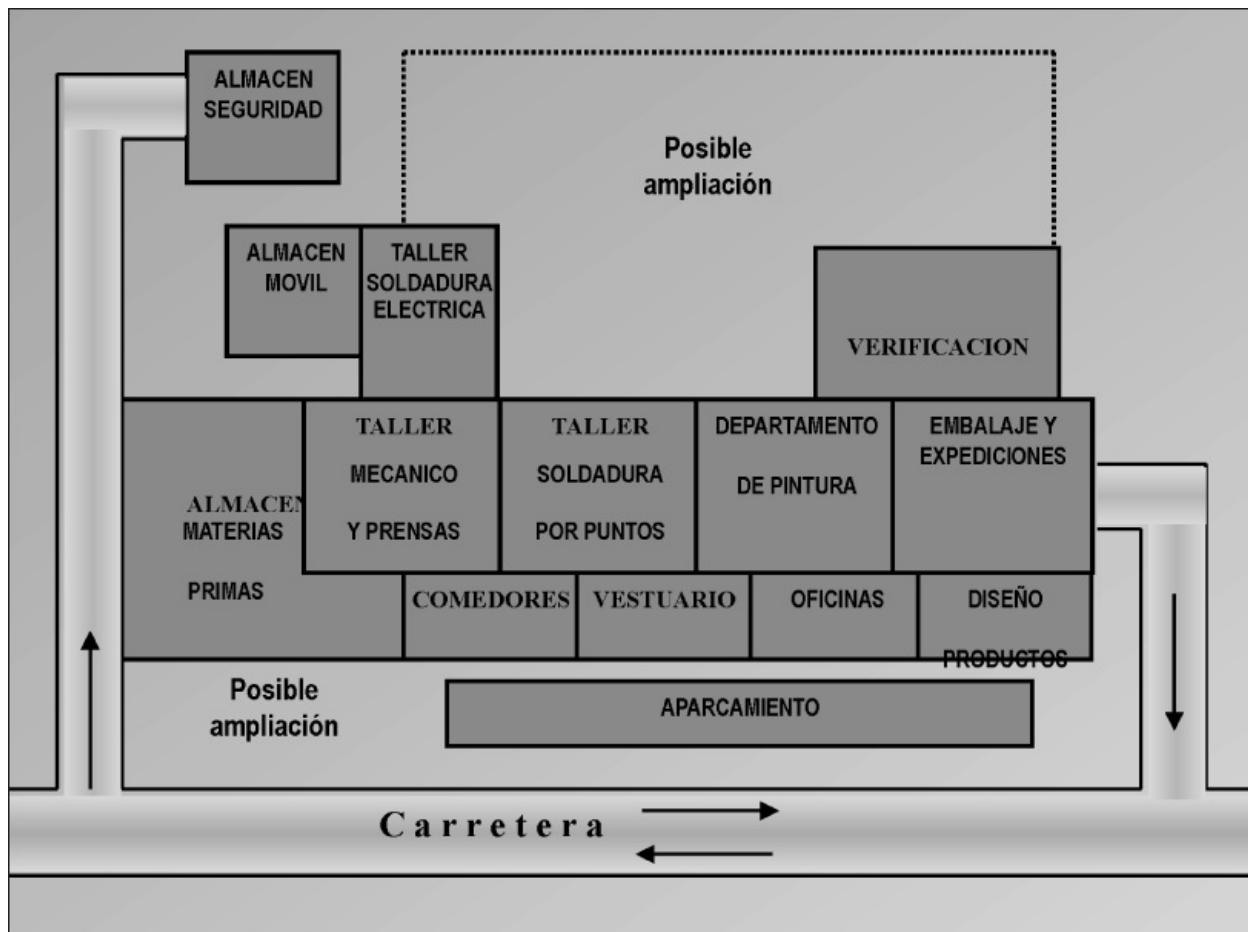


Figura 3.28. Distribución en planta de la primera solución desarrollada sobre retícula.

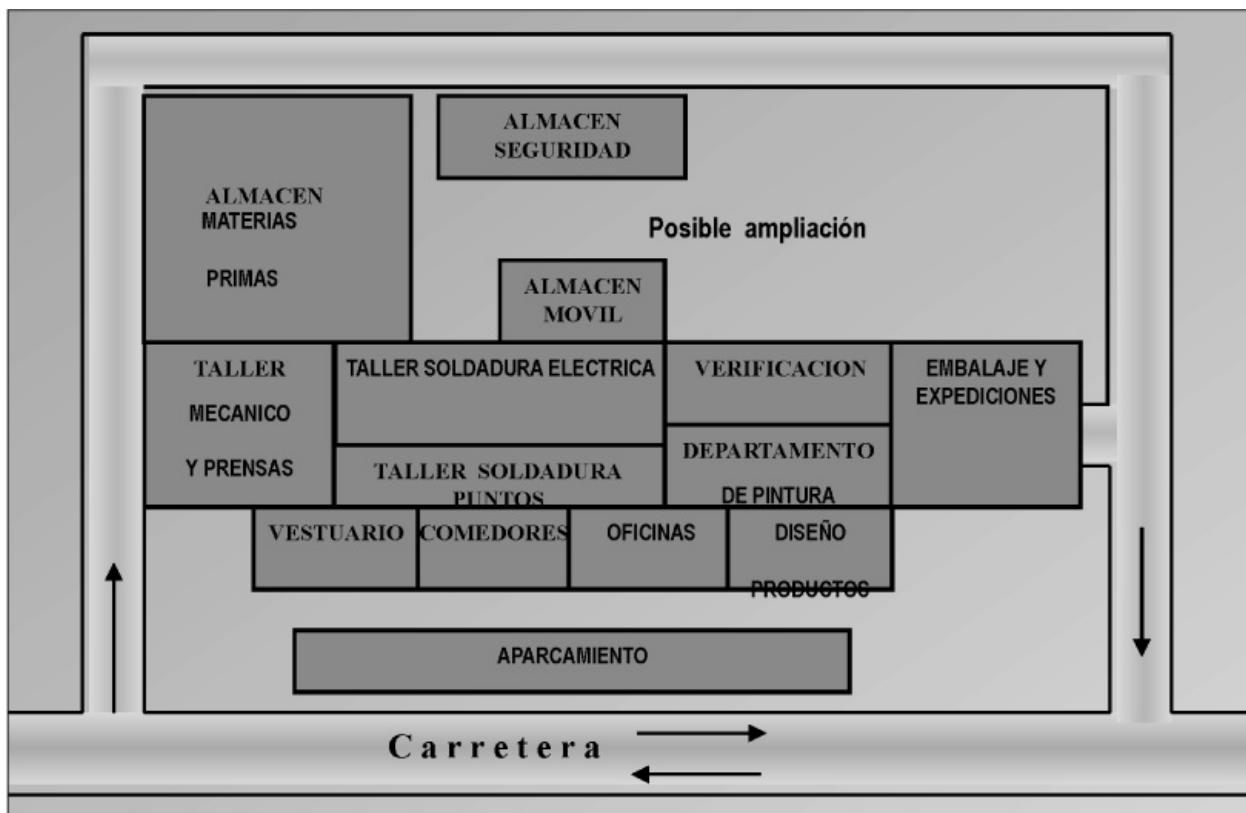


Figura 3.29. Distribución en planta de la segunda solución desarrollada sobre retícula.

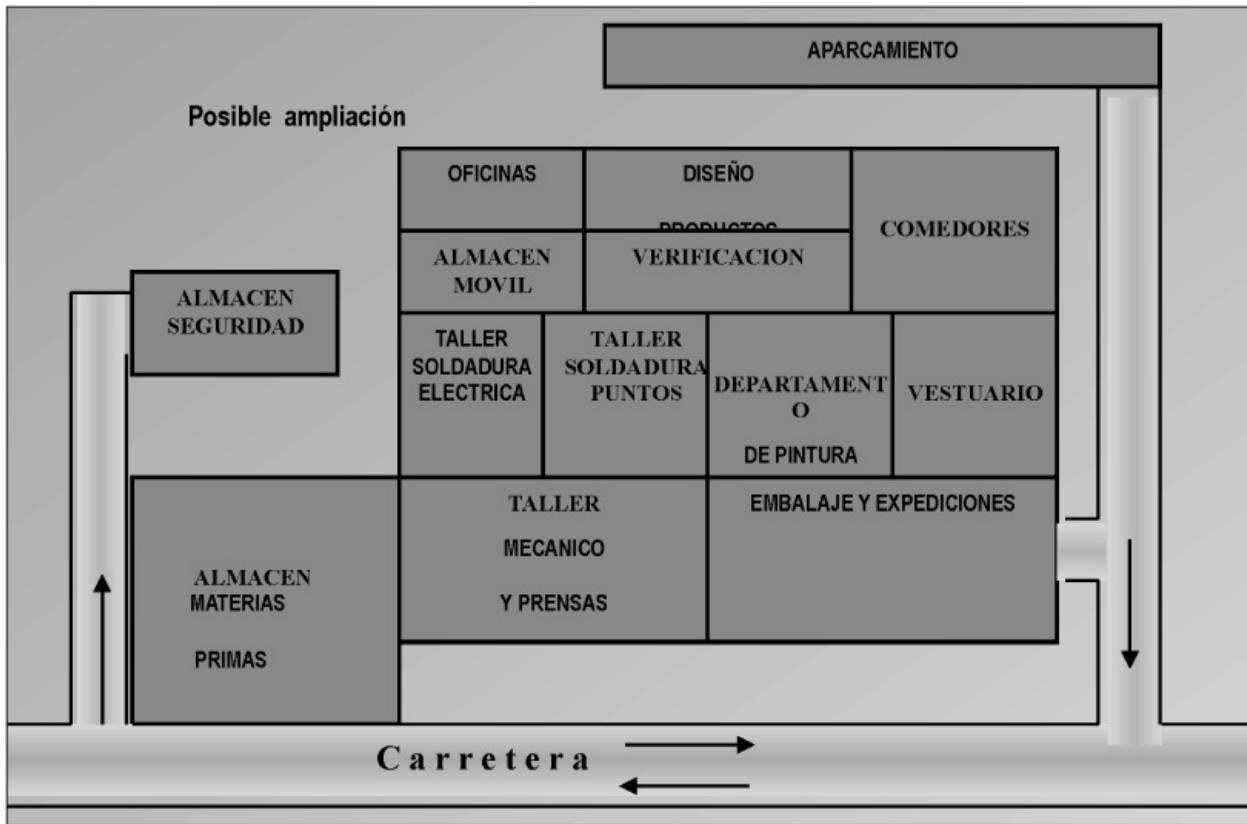


Figura 3.30. Distribución en planta de la tercera solución desarrollada sobre retícula.

- Minimización y racionalización de recorridos de materiales, personas y elementos de transporte.
- Seguridad.
- Adaptación a normativas generales y locales.
- Facilidad de puesta en marcha y control de los procesos.

Así pues, el procedimiento de selección consistirá en someter las soluciones encontradas al juicio de un equipo de personas involucradas de algún modo en la valoración (incluidos los futuros usuarios de la instalación). Cada uno de los criterios elegidos será evaluado mediante un coeficiente de ponderación cuyo valor reflejará la importancia del mismo.

En este sentido, retomando el caso práctico de nuestra planta, para el que, recordemos, habíamos obtenido tres posibles soluciones, los criterios elegidos y los coeficientes de ponderación (C.P.) serán:

1. *Secuencia de operaciones:* lo más uniforme posible. C.P.: 10.

2. *Seguridad*: sobre todo para el almacén de seguridad. *C.P.*: 9.
3. *Reformas departamentales*: en los centros, pero sin romper la secuencia y posibilitando subdivisiones en los mismos. *C.P.*: 7.
4. *Posibilidades de ampliación*: sobre todo en los almacenes de materias primas y expediciones. *C.P.*: 6.
5. *Circulación de personal fluida*. *C.P.*: 5.

Los criterios considerados se habrán de puntuar (en nuestro caso, de 1 a 5) para todas y cada una de las soluciones presentadas y, luego, se multiplicarán tales puntuaciones por sus coeficientes de ponderación (que en nuestro caso irán de 1 a 10). Sumando estos productos se obtendrá la puntuación total de cada alternativa de solución. La figura 3.31 muestra el cuadro con las puntuaciones.

Como se puede observar, guiándonos por el criterio de que aquella solución que haya obtenido la máxima puntuación total es la mejor, la distribución a implementar será la que se derive de la solución 1. Ello no supone, sin más, que se elija la solución 1, sobre todo si alguna otra solución tiene una puntuación similar. Así, aunque en algunos aspectos la solución 1 sea óptima, como los que hemos resaltado con fondo gris y caracteres en negrita, no deben despreciarse aquellas soluciones de puntuación similar a ella (caso de la solución 2). Será necesario fijarnos en aquellos criterios concretos (destacados de la misma manera en la solución 2) en los que otras soluciones superen a la óptima, llegando incluso a modificarla de modo que obtengamos una solución mixta que contenga las mejores cualidades de las distintas soluciones.

Así pues, en nuestro caso y de acuerdo con los resultados de la tabla de la figura 3.31, la solución 1 es la idónea. Sin embargo, en el criterio con mayor ponderación, la solución 2 es igual de buena, pero, sobre todo, mejora las prestaciones de la solución 1 en lo relativo a las ampliaciones. En consecuencia, la solución definitiva podría ser la 1 con una corrección en este sentido, tal como muestra la figura 3.32 (de la página anterior), en la que se destacan los cambios en fondo oscuro y caracteres en blanco.

CRITERIOS	Coef. pond.	SOLUCIÓN 1		SOLUCIÓN 2		SOLUCIÓN 3	
		Puntos	Pond.	Puntos	Pond.	Puntos	Pond.
Secuencia	10	4	40	4	40	2	20
Seguridad	9	4	36	3	27	3	27
Reforma departamental	7	4	28	3	21	3	21
Ampliación	6	4	24	5	30	1	6
Circulación	5	4	20	4	20	3	15
PUNTUACIÓN TOTAL			148		138		89

Figura 3.31. Cuadro de valoraciones ponderadas de las soluciones.

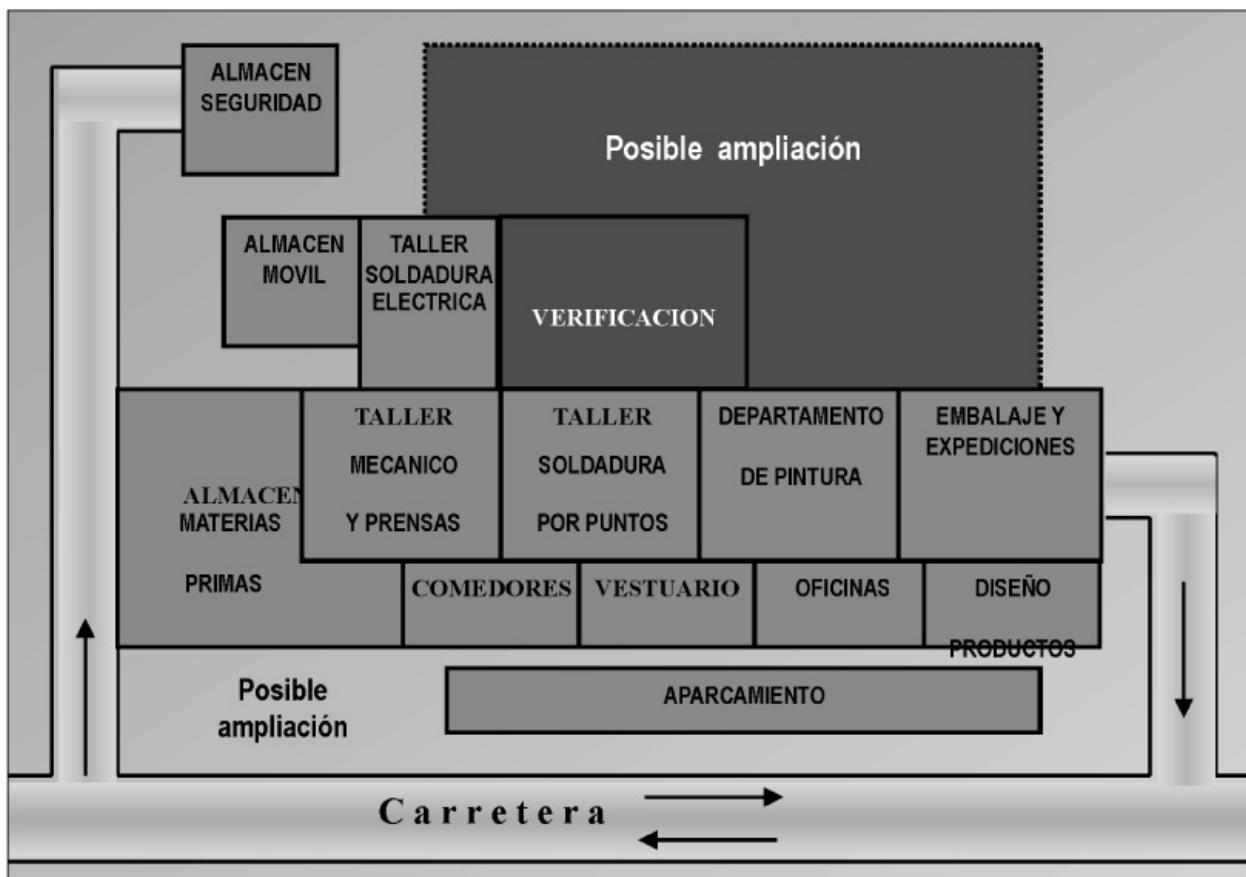


Figura 3.32. Distribución en planta de la tercera solución desarrollada sobre retícula.

4

MODELOS DE DISEÑO E IMPLANTACIÓN EN INGENIERÍA DE PROCESOS

BATCH & QUEUE (MASA)

En el capítulo anterior hemos comenzado a ocuparnos de los aspectos que conciernen al diseño y dimensionado de plantas de producción, pero de una forma global y sin entrar en detalles. A partir de aquí vamos a ocuparnos, ahora ya de forma detallada y tal como exige la ingeniería de procesos, del diseño, desarrollo e implantación de los procesos que tienen lugar en las plantas productivas, que, sin embargo, nos obliga a adoptar un modelo de gestión, ya que, dependiendo del que se elija, la metodología y los resultados son muy distintos.

Los modelos de diseño, desarrollo e implantación de procesos pretenden optimizar, con distintos enfoques, la eficiencia y competitividad de los mismos, cada uno de acuerdo con su filosofía y herramientas. En este sentido, dos son las tendencias que dominan actualmente en la ingeniería de procesos: la tradicional, basada en la producción por lotes en cola (*batch and queue*) que conforma el modelo de *producción en masa*, y la más avanzada, que responde a la gestión *lean manufacturing*. El modelo tradicional de gestión ha conocido recientemente mejoras conceptuales desde el punto de vista de la ingeniería de procesos, que permiten mejorar su competitividad y tratar de subsistir frente a

los sistemas más avanzados.

Vamos a ocuparnos ahora de las características detalladas de cada uno de los modelos de gestión que acabamos de presentar.

4.1. El modelo de gestión tradicional en masa.

Batch and queue

Los sistemas productivos gestionados ateniéndose a la producción masiva, desarrollados a principios de siglo XX y utilizados profusamente a lo largo de mismo, responden a unos criterios sencillos, aunque su implantación implicó una gran dosis de racionalización y mejora de la productividad.

Se basan en una gama de productos lo más estandarizada posible, cuya producción se lleva a cabo en grandes volúmenes para lograr el máximo de economías de escala y, con ello, un coste unitario lo más bajo posible. Este modelo de gestión basa su competitividad en la elevada productividad de todos los elementos que integran el sistema productivo: máquinas de gran capacidad y con el mayor nivel de automatización posible, por una parte, y personal experto en operaciones concretas, especializado en las mismas.

La implantación y gestión de la producción en masa se caracteriza, además, por:

- *Optimización de los procesos, operación a operación*, de forma independiente, maximizando la productividad de cada uno de ellos en detrimento del equilibrio. Ello es así porque cada puesto de trabajo tiene su ritmo de producción —el que sea capaz de mantener de acuerdo con las tareas que realizar y los medios de que disponga—, por lo que si todos ellos operan a su máximo nivel, éste será distinto para cada uno, y de ahí que el proceso se hallará desequilibrado. El desequilibrio se absorberá con stock entre puestos, que es lo que los hará realmente independientes. La productividad operación a operación interesa, pues, más que el equilibrio.
- *Lotes de producción grandes*, tratando de aprovechar al máximo las economías de escala. La operativa en grandes lotes o por oleadas ha sido superada por las tendencias más avanzadas y supone lo contrario

que la filosofía *lean*. Los elevados volúmenes de producción que se tratan de alcanzar exigen, además, que los procesos y sus medios de producción no paren en modo alguno y generen gran cantidad de stock por sobreproducción.

- *Lotes de transferencia grandes*, referidos a la cantidad de producto que se envía simultáneamente de una operación a otra. Puede tratarse de un contenedor u otro elemento cualquiera que permita albergar una cierta cantidad de producto. El tamaño de un lote de transferencia grande, al igual que sucedía con el de producción, supone mantener a los puestos de trabajo con material suficiente para asegurar que no paren (y pierdan productividad). Además, dado que estos lotes de transferencia deben transportarse de una operación a otra, cuanto mayores sean, menos viajes habrá que hacer.
- *Producción con enfoque push* sobre previsiones, operando al máximo de la capacidad de la planta —dicha capacidad, junto con la productividad operación a operación, son la gran baza de este modelo para alcanzar la competitividad— para después empujarla (*push*) al cliente (interno o externo) hasta lograr *colocarla* (incluyendo rebajas, liquidaciones y saldos).
- Tendencia a la *implantación funcional tipo taller*, aunque el ensamblaje suele llevarse a cabo en cadena. En efecto, la implantación funcional se adapta muy bien a los principios de la producción masiva. En efecto, este tipo de implantación permite:
 - Que cada operación se desarrolle independientemente, lo que puede lograrse muy bien con la implantación funcional (o *talleres* en el caso de fabricación).
 - Disponer muy juntas las operaciones (con máquina o sin ella) del mismo tipo, lo que es una ventaja para el trabajador especialista, tan típico de la empresa convencional.
 - Disponer de una gran flexibilidad a la hora de aprovechar los equipos de producción, ya que combinando rutas se pueden producir componentes o productos muy distintos (flexibilidad que le viene muy bien a un sistema de producir tan rígido como la producción convencional en masa).
 - Que varios procesos puedan compartir una misma máquina o equipo de producción, lo que permite amortizarla al máximo,

algo que preocupa a este modelo de gestión, que no admite que los recursos que han supuesto una gran inversión se hallen parados en ningún caso.

La implantación funcional o por talleres de los procesos está tan arraigada a la producción tradicional en masa, que ésta se conoce con frecuencia por la denominación de la operativa de trabajo que inevitablemente precisa este tipo de implantación, la conocida como *batch and queue*. Dicha operativa está basada en reunir materiales y productos en lotes o contenedores (*batch*), que, debido al desequilibrio del proceso, acabarán haciendo cola (*queue*) al acceder a las operaciones que precisen.

- *Personal especialista* que opera siempre en actividades del mismo tipo, tratando de alcanzar una elevada productividad en la medida que sea experto en este tipo de actividad. De hecho, si la producción en masa se halla aún muy extendida, los sistemas productivos y su ámbito social están estructurados alrededor del personal especializado y con categorías laborales (por ejemplo, tornero de primera, de segunda, etc.), por lo que el tipo de formación del personal productivo es uno de los grandes obstáculos para evolucionar hacia otras formas de trabajar.
- *Calidad del producto y disponibilidad* de los medios de producción con niveles frecuentemente bajos, aun cuando los sistemas de calidad y de mantenimiento preventivo de los equipos están actualmente muy desarrollados. Sorprende que sea así, pero si lo pensamos un poco, se nos ocurre una razón: la falta de motivación. ¿Por qué? Porque en las implantaciones funcionales cada operación se halla independizada físicamente y garantizada esta independencia con stock que la desvincula de las demás. Si ocurre un problema, se resuelve, pero el resto de la planta sigue operando. Con implantaciones en flujo, con el peligro de detención de todo el proceso al menor problema, no podrían permitirse fallos.

¿Cuáles son las consecuencias inmediatas de esta forma de trabajar? Podríamos citar, entre otras, las siguientes:

- Desequilibrado del flujo debido a la tendencia a maximizar la productividad operación a operación, como ya ha sido expuesto, pero también debido a la rigidez que implica la utilización de personal especializado que no se mueve de determinado tipo de operación.
- Mucho stock en proceso (que, además, genera esperas) a causa del desequilibrio anterior, así como también por el elevado tamaño de lotes de transferencia que supone, de por sí, un stock en cada puesto de trabajo. De hecho, hay otros motivos que generan stock, como la utilización del mismo para cubrir problemas (por ejemplo, la independización de unas operaciones de otras, según lo expuesto). Además, el gran tamaño del lote de producción genera más stock, como veremos más adelante.
- Dificultad en producir una variedad elevada de productos, sobre todo debido al gran tamaño de los lotes de producción, cada uno de los cuales puede llevar mucho tiempo hasta completarse.
- Colas a la entrada de las operaciones. La implantación funcional con productos distintos que convergen en la misma operación es una de las razones (recuérdese la denominación de *batch and queue*). El desequilibrio y el stock que éste genera es otra de ellas.
- Tiempo de entrega de cada lote de producción, muy largo, sobre todo por el tamaño de los lotes de transferencia, las colas y las esperas derivadas del stock acumulado. Los grandes lotes de transferencia son, de todos modos, la razón principal; en efecto, sea un contenedor con 1.000 piezas, cuyo proceso en una operación dada lleva un minuto por pieza. Si ésta no tuviera que esperar que se complete el contenedor, al minuto de acceder a una operación, ya podría avanzar hacia la siguiente, pero con la espera, esta pieza (y todas las demás) avanzará a los mil minutos (¡casi diecisiete horas!) y, luego, ocurrirá lo mismo en la siguiente operación y en la siguiente, etc.

En general, en el mundo actual, la falta de competitividad de la producción en *masa-batch and queue* puede ser debida, entre otras razones, a:

- ✓ Aun y con las economías de escala que persigue, el coste puede no ser bajo, debido a la gran cantidad de despilfarro que acompaña al sistema: muchas actividades prescindibles (como manipulación de los lotes y transportes de los mismos), stock en grandes cantidades, mucho tiempo perdido (en colas, esperas dentro de un contenedor a que se llene, etc.), demasiado producto para vender no cubierto por la demanda, calidad demasiado cara, etc.
- ✓ Operar maximizando la productividad de cada operación por separado no mejora la de los procesos: genera stocks intermedios.
- ✓ Operar al límite de la capacidad, sin detenerse, genera costes innecesarios.
- ✓ Aun cuando estuvieran asegurados, la productividad y el coste no son suficientes, en la actualidad, para asegurar la competitividad. Normalmente será necesario que vengan acompañados por un tiempo de respuesta rápido (que la producción en masa está muy lejos de tener: recordar el tiempo de espera en contenedores hasta que se terminan, y esto ocurre en cada operación), calidad asegurada y flexibilidad para adaptarse al mercado (muy difícil en este entorno productivo).
- ✓ Operar a gran escala es cada vez más peligroso, ya que los mercados están cada vez más saturados y colocar un gran lote de producción puede ser todo un problema, sobre todo si no se quiere renunciar al beneficio de los costes bajos, que se perderá al vender a un precio más bajo del previsto.
- ✓ La poca diversidad de producto factible cuando se opera en grandes lotes es un problema cada vez mayor para mantenerse en mercados exigentes.

4.1.1. Diseño de las plantas convencionales en masa

Hemos expuesto y justificado ya, la disposición predominante en las plantas de producción en masa: la de tipo funcional-taller, aunque el ensamblaje suele efectuarse en cadena, que ya fue realizado por Henry Ford a comienzos del siglo XX.

En efecto, ha quedado claro más arriba que el diseño basado en las

implantaciones funcionales o talleres es el que se adapta mejor a la filosofía y modo de proceder de la gestión convencional en masa. La implantación funcional permite, en suma, procesar los productos en grandes lotes (obteniendo así economías de escala), aprovechar al máximo la capacidad de las instalaciones y producir una amplia variedad de producto. Esto resulta muy apetecible para un sistema de gestión para el que éstos son precisamente sus objetivos y ha permitido un funcionamiento competitivo durante todo el siglo XX (en la mayor parte de los sectores productivos, muchos de los cuales todavía funcionan así).

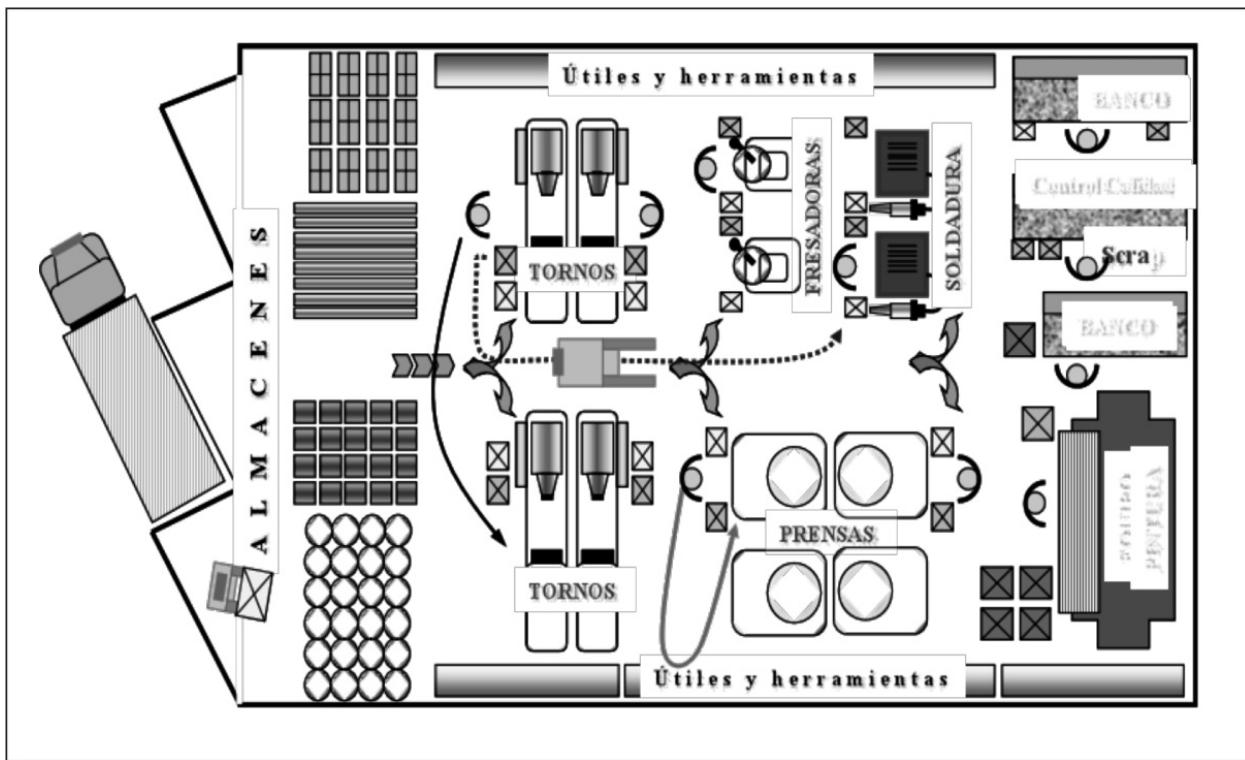


Figura 4.1. Disposición en planta funcional (tipo taller) muy adecuado para la producción en masa.

Veamos, ahora, un planteamiento de este tipo de disposición para un caso de producción industrial cualquiera. La figura 4.1 muestra este diseño, en el que observamos el típico muelle de carga de camiones, que traen los aprovisionamientos y/o se llevan el producto acabado, lo que hace que la zona del muelle de carga se halle adosada a los almacenes de materiales y/o productos, almacenes que son típicos de la producción en masa, donde el stock no se entiende como un problema, sino más bien como una solución.

Más allá de los almacenes, se ubica la zona de operaciones, en la que lo primero que destaca es que las máquinas, equipos y puestos de trabajo manuales (tales como bancos de trabajo) están agrupados por tipos, de acuerdo con la disposición funcional (i.e., todos los tornos juntos). Cada puesto de trabajo tiene su stock de producto para procesar y procesado en contenedores (rectángulos cruzados), para así operar independientemente y mover el producto en (grandes) lotes, movidos por medio de carretillas o traspaletas, lo que obliga a que este tipo de implantación disponga de muchos pasillos (dado que el producto es el que se mueve).

Otros detalles que vemos en la figura son las estanterías en los laterales de la planta, tan típicas de los talleres, que contienen (en general, sin demasiado orden) utilajes, herramientas, moldes, matrices, calibres y demás elementos necesarios (¡o no!) para la actividad productiva de las distintas máquinas. Ello obliga al personal a efectuar *paseos* para recogerlos y devolverlos, como el que, en la figura, señala una flecha en una de las prensas.

Otra flecha plasmada en la figura es el recorrido del operario de los tornos para ir de uno a otro. En este caso, al disponer las máquinas del mismo tipo juntas, el trabajador —que es especialista, recordemos— no precisa recorrer grandes distancias para ocuparse de varias máquinas del mismo tipo.

Un detalle todavía demasiado frecuente en esta modalidad de gestión es la forma en que se controla la calidad una vez concluido el proceso, al enviar a reprocesar los productos en los que se han hallado defectos o, de no ser posible repararlos, desecharlos en el contenedor correspondiente (etiquetado como *scrap*). ¿Por qué esta tendencia a inspeccionar la calidad al final de los procesos en lugar de asegurarla en cada operación? El que hoy aún subsista esta tendencia —totalmente anacrónica ya— se debe a la necesidad de sacrificarlo todo en aras de la productividad, es decir, se trata de que el trabajador solo produzca (lo que suele justificar una prima de productividad) y no se *entreteenga* en asegurar la calidad de lo que ha hecho, ya lo hará el Departamento de Calidad.

4.2. La gestión de la implantación batch and queue y su mejora

La modalidad de gestión de los procesos en masa con implantación *batch and queue* comenzó a implantarse en los inicios del siglo pasado desde el sector del automóvil con Henry Ford, desde donde se difundió a todo tipo de sectores industriales y de servicios. Sus características, en esta versión inicial no le otorgan mucha competitividad, tal como hemos expuesto, y no lo recomendaríamos a ninguna ingeniería de procesos actual.

Sin embargo, en la década de los ochenta del mismo siglo apareció una nueva modalidad de gestión de los procesos, que permite mejorar mucho las prestaciones cuando se aplica a las implantaciones *batch and queue*, pese a que para los modelos de implantación de procesos avanzados actuales (como se verá más adelante) dicho tipo de implantación es mala por sí misma. Fue elaborado por Eliyahu Goldratt y se basa en identificar y gestionar adecuadamente los *cuellos de botella*.

Esta nueva modalidad de diseñar e implantar procesos productivos sigue permitiendo, en efecto, operar en plantas tipo funcional-taller, con personal especializado y, también, mover el producto por lotes (*batch*), aunque trata de evitar las colas (*queue*). La novedad es que adopta, en cambio, algunos aspectos más propios de las implantaciones avanzadas, tales como:

- Necesidad de *gestionar por procesos* y no por operaciones aisladas.
- *Equilibrar* la actividad productiva de los procesos.
- Permitir que las *operaciones de los procesos se detengan o ralenticen* para adaptarse al ritmo global del proceso.
- *Eliminar el stock*, excepto si se precisa por seguridad.
- *Reducir el tamaño de los lotes* hasta donde sea posible (aunque se permita la operativa con ellos, como se ha dicho).

Este modelo de gestión en *masa-batch and queue* mejorada centra sus esfuerzos en los cuellos de botella de los procesos. Pero ¿qué es realmente un *cuello de botella*? Técnicamente, es toda operación cuya capacidad no permite alcanzar la producción planificada, aunque en la práctica suele utilizarse como aquella operación que, por su lentitud, condiciona el avance de todo el proceso. En efecto, cuando una operación es más lenta que las demás, todo el proceso acaba poniéndose al ritmo de la misma. Por eso aquí la llamaremos operación *condicionante*.

Por este motivo, para aumentar el ritmo de los procesos debe aumentarse el de las operaciones condicionantes hasta donde sea posible. De todos modos, será importante que el aumento de la capacidad productiva de los procesos alcance el volumen de producción planificado, para lo que será importante mejorar la capacidad de todos los cuellos de botella.

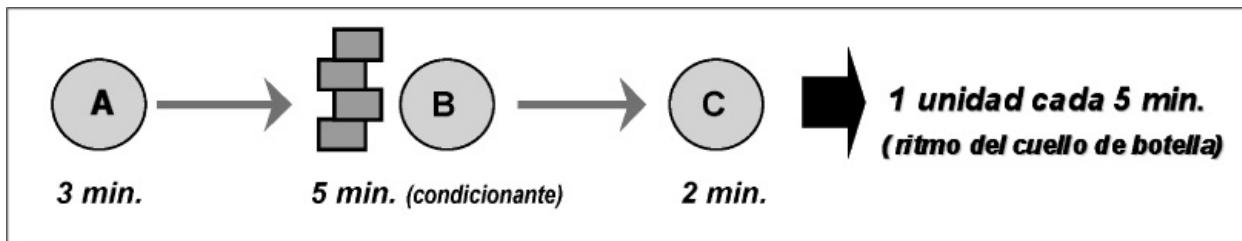


Figura 4.2. Proceso de tres operaciones y su tiempo de ciclo.

De esta forma, en las operaciones no condicionantes habrá un sobrante de tiempo que se empleará para absorber los desequilibrios que indefectiblemente se producirán. Por el contrario, en las operaciones condicionantes y cuellos de botella en general no debe permitirse en modo alguno que afecten los retrasos provocados por los desequilibrios procedentes de operaciones anteriores.

La mejora de la eficiencia de los procesos diseñados e implantados con esta filosofía parte del principio de que el tiempo de ciclo del proceso (lo que tarda el mismo desde que entrega una unidad de producto hasta que entrega la siguiente) es el de su operación condicionante. El cuadro de la figura 4.2 muestra este hecho, con la operación B como condicionante, ya que su tiempo de ciclo es el mayor (5 minutos por unidad de producto). Obsérvese, también, que en la operación B condicionante se acumulará stock en proceso, dado que es más lenta que las que le preceden y le enviarán producto a un ritmo superior al que B puede procesar.

Dado que este enfoque de gestión se basa en establecer un flujo equilibrado de producto a través del proceso en lugar de optimizar operación a operación, se establece que *todas las operaciones del proceso operen al ritmo de la operación condicionante*, independientemente de su capacidad real: se producirá un equilibrado del proceso basado en el flujo, no en la capacidad de cada operación. De esta forma, en las operaciones no condicionantes, que tendrán un excedente de capacidad, habrá un sobrante de tiempo. ¿Queremos eliminar este sobrante y hacer más productivo el proceso? Pues solo hay una cosa que hacer según este modelo de diseño e implantación de procesos: *aumentar la*

capacidad de la operación condicionante (y, como se ha dicho, convendrá hacer lo propio con todos los cuellos de botella). Ello no supone aumentar los recursos de que dispone, como, por ejemplo, más personal o máquinas (en cuyo caso eliminaríamos su carácter de condicionante), sino que deberemos mejorar su eficiencia tal y como está diseñada e implantada. Aportar más recursos supondría operar como lo hace la gestión convencional (que cuando no se ha producido bastante, se hacen horas extraordinarias, sin más).

La figura 4.3 presenta el proceso de la figura anterior en la que todas las operaciones se han ajustado al ritmo de la operación condicionante (5 minutos por unidad). A continuación, la figura indica los tiempos de ciclo con una mejora en la citada operación que le permita operar a 4 minutos por unidad. El resto de las operaciones del proceso, que están capacitadas (de sobra) para ello, también lo harán automáticamente.

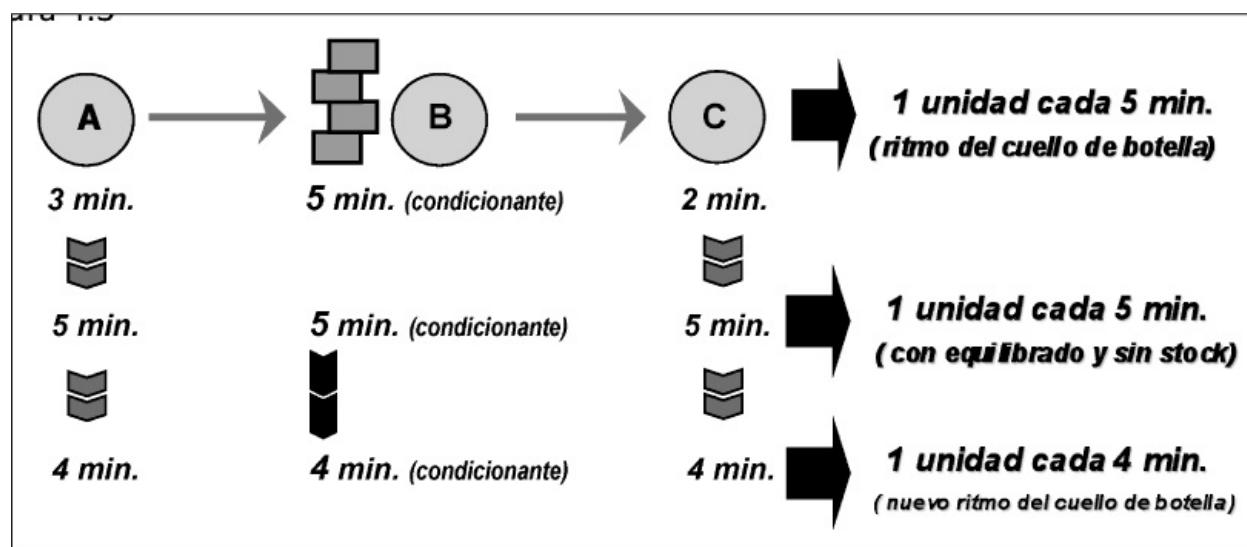


Figura 4.3. Proceso equilibrado al ritmo de la operación condicionante y mejora de esta.

Así pues, es muy importante determinar qué acciones pueden mejorar la eficiencia de las operaciones condicionantes, ya que su mejora condicionará la de todo el proceso. Como se trata de aumentar la capacidad de los procesos hasta alcanzar la planificada, trataremos de aumentar la capacidad de todos los cuellos de botella.

Veamos algunas de estas acciones:

- Evitar cualquier tipo de paro en cuellos de botella (cambios de

turno, descansos, etc.). Por ejemplo, en un descanso del personal, que una máquina cuello de botella no pare, sino que cambie la persona que la lleva.

- Evitar producir en cuellos de botella piezas que no se requieren de una forma inmediata. Por ejemplo, evitar la tendencia a producir lotes mayores que los que realmente se precisa para cubrir la demanda, para evitar un exceso de preparaciones o cualquier otra razón.
- Realizar los controles de calidad antes de procesar unidades de producto en cuellos de botella, ya que, de lo contrario, estas unidades no computarían en la producción final y se reduciría la capacidad real.
- Desviar los procesos de piezas que puedan llevarse a cabo con un recurso no cuello de botella a otros recursos. En realidad, los cuellos de botella pueden llegar a crearse debido a una actitud tendente a canalizar las operaciones hacia determinadas tecnologías, máquinas o personal muy experto, que los convierte así en cuellos de botella.
- Modificar el diseño de piezas para eliminar o simplificar las operaciones en los cuellos de botella. Este caso puede ser una variante del anterior, debido a la tendencia a diseñar los productos para poder aprovechar las tecnologías, máquinas o personal expertos allí referidos.
- Utilizar, si cabe, personal o equipos de bajo rendimiento para apoyar los cuellos de botella. Aunque pueda reducirse la productividad media de los mismos, su producción aumentará y, con ello, la de las demás operaciones del proceso, con lo que todas y cada una de ellas mejorarán su capacidad de producción y, lo que es más importante, el proceso también.
- Preparaciones rápidas en las máquinas que integran los cuellos de botella, ya que de esta manera estarán menos tiempo paradas. Las operaciones no cuello de botella pueden no precisar mejorar los tiempos de preparación debido a que tienen un excedente de capacidad, pues, como decía el mismo Goldratt, todo tiempo ganado en un no cuello de botella es un espejismo.
- Disponer de un stock de seguridad frente a los cuellos de botella para que no le afecten los desequilibrios del sistema, como veremos a

continuación.

Con éstas u otras acciones aumentará el ritmo de los cuellos de botella y, sobre todo, de la operación condicionante, que mejorará así el ritmo de todo el proceso.

Queda, sin embargo, un problema por resolver: el hecho de que cada operación ocurra a un mismo ritmo no implica realmente que el proceso funcione a este mismo ritmo, debido a que éste es, en mayor o menor grado, el resultado de una media (decimos: hoy hemos producido 150 piezas en una jornada de diez horas, luego hemos operado a un ritmo de una pieza cada cuatro minutos, lo que, evidentemente, se trata de una media).

Veamos un ejemplo: una operación funciona con un flujo de 1 kg por minuto durante cinco horas y 2,3 kg por minuto durante otras cinco horas (por lo que se trata de un flujo irregular). Veamos cuál es su capacidad:

$$\text{Capacidad: } 1 \times 60 \times 5 + 2,33 \times 60 \times 5 = 300 + 700 \text{ kg en } 5+5 \text{ h} = 1.000 \text{ kg/ 10 h}$$

La operación que sigue a ésta no podrá cumplir con este ritmo, ya que los primeros 300 kg los recibe en cinco horas y los debería haber recibido en tres horas (100 kg/h.). El retraso de dos horas con que comienza los otros 700 kg se mantendrá aunque ajuste su flujo a su capacidad y no podrá entregar los 1.000 kg en diez horas sino en doce.

Veamos qué ocurre en realidad: si una producción se lleva a un ritmo promedio de una unidad cada cuatro minutos puede ocurrir que:

- ✓ Llegue una unidad a los tres minutos a una operación. Cómo ésta se hallará ocupada durante cuatro minutos en la unidad anterior, esta ganancia de tiempo se perderá esperando que esta operación acabe dicha unidad.
- ✓ Llegue una unidad a los cinco minutos a una operación dada. Ésta llevará un minuto esperando la llegada de la citada unidad, pero cuando proceda con ella, estará ocupada durante sus cuatro minutos con la misma (sobre todo si se trata de un cuello de botella), por lo que el retraso se arrastrará hasta el final del proceso.

Ante esta situación, pues, los adelantos no sirven para nada y los retrasos demoran la entrega y el proceso no podrá operar al ritmo —promedio— de cada operación, aunque sean todos iguales.

¿Qué hacer en este caso? Los no cuellos de botella que aún tengan sobrante de tiempo —aunque el cuello de botella haya mejorado su ritmo— que lo aprovechen para recuperar los tiempos perdidos por el retraso en la recepción del producto. Las demás operaciones, en principio los cuellos de botella, dado que no pueden absorber retrasos, ¡que no los tengan! Así de fácil. Pero ¿cómo? Simplemente, disponiendo de un stock de seguridad para que tengan garantizada la capacidad de operar con una unidad de producto en cuanto acaben con la anterior.

Por otra parte, como aspecto realmente diferencial de este tipo de diseño e implantación de procesos, hemos de considerar que cada recurso mantiene su capacidad que, de ser inferior a la que se pretende alcanzar en la producción, representará el auténtico concepto de cuello de botella. Ello permite que se pueda seguir operando como en la implantación convencional: con trabajadores especialistas y en una implantación funcional. Precisamente por esto, este modelo resulta muy útil para hacer una versión mejorada del modelo tradicional de producción en *masa-batch and queue*, que no tendrá problemas para aprovechar las economías de escala y operar en una planta funcional.

Por otra parte, debemos insistir en que las operaciones no cuellos de botella deben ir al ritmo de las que sí lo son, pero además suministrando puntualmente a éstos. Esto es importante, ya que puede ocurrir que, con su exceso de capacidad, se dediquen a producir para otros procesos, de forma que cuando hayan de suministrar a cuellos de botella, no estén en disponibilidad de hacerlo.

Otro aspecto importante es el relacionado con el tamaño del lote de producción, cuya reducción acarrearía más tiempos perdidos en preparaciones. En puestos no cuello de botella, éstos pueden abordarse a costa de sus tiempos sobrantes, pero en los cuellos de botella no los hay, y si hay más preparaciones, se deberían llevar a cabo en menos tiempo —tal y como hemos propuesto anteriormente— o bien operar, excepcionalmente, con lotes mayores.

Veamos un caso-ejemplo de aplicación de los principios de la gestión de los cuellos de botella en la gestión tradicional, para confirmar la mejora que ésta puede llegar a alcanzar y, muy especialmente, la gran diferencia que supone gestionar procesos en lugar de operaciones independientemente. La figura 4.4

muestra el ejemplo por medio de un proceso entre dos máquinas A y B en una implantación convencional de tipo funcional; primero, gestionado por operaciones independientes (gestión por operaciones en la figura) y luego con una implantación equilibrada gestionada por procesos (gestión por procesos en la figura).

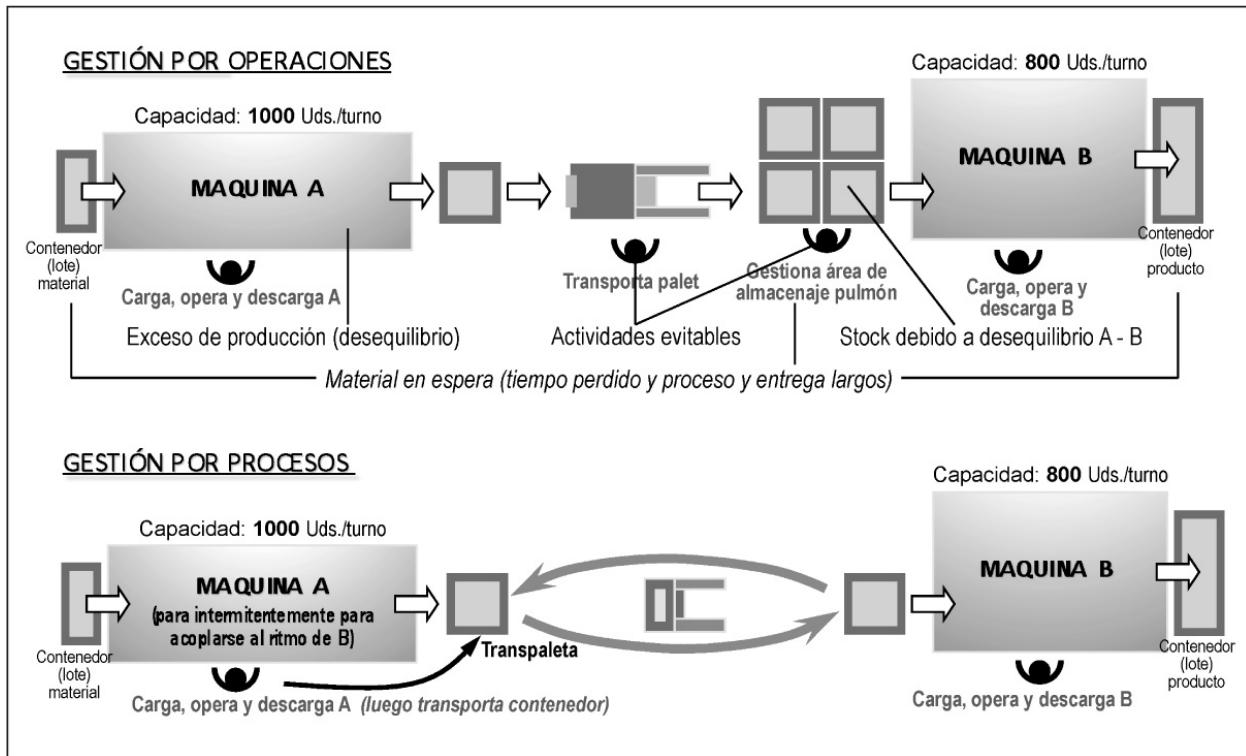


Figura 4.4. Gestión por operaciones frente a gestión por procesos.

En el proceso con ambas operaciones, la máquina B (con una capacidad de 800 unidades/turno) es la operación condicionante. La máquina A opera llenando contenedores, que una carretilla lleva a la zona de la máquina B, que opera con otro contenedor. Pero la carretilla ha de dejar su contenedor en un almacén *pulmón* previo a la máquina B, que se generará debido a su menor capacidad.

En la segunda parte de la figura —gestión por procesos—, la máquina A opera llenando un único contenedor y, cuando lo termina, se detiene. El contenedor es llevado a la máquina B con una transpaleta y se deja en dicha operación, retirando, cuando esté vacío, el único contenedor que habrá en la zona de esta máquina, para devolverlo a la máquina A, que, al recibirlo, reinicia su actividad, habiéndose logrado que el flujo de A sea igual al de B, y

manteniéndose la capacidad del sistema en 800 unidades/turno. Para que el trabajador de A no esté parado mientras lo está la máquina, él mismo puede llevar el contenedor de A a B con una transpaleta manual que siempre se halle en este proceso, para luego volver con el otro de B a A. En tal caso y, como se observa en la figura, habríamos eliminado la mitad de los puestos de trabajo (de 4 a 2), concretamente los que no llevan a cabo ninguna actividad productiva —lo que más adelante llamaremos *desperdicios*— y se eliminaría también el almacén pulmón y su stock.

La ganancia es, en verdad, muy grande para lo poco que costaría implementarla. Y no hemos ni entrado en mejorar la capacidad de la operación condicionante, por lo que las posibilidades de mejora son aún mayores. De todas formas, gestionando adecuadamente la operación condicionante y los cuellos de botella en general, se puede mejorar la eficiencia de los sistemas productivos que operan en masa y con implantación *batch and queue*, economizando recursos por medio de la mejora de la eficiencia de los ya existentes y centrando los ahorros en los cuellos de botella.

4.3. La distribución en planta por talleres y su mejora

Para llevar a cabo una implantación tipo taller sin renunciar, en lo posible, a mejorar la eficiencia y eliminar actividades improductivas, habríamos de:

- Estudiar y mejorar la distribución en planta, su organización y el orden en la misma, acercando las máquinas que convenga al máximo.
- Dimensionar y estandarizar los contenedores, reduciendo en lo posible su tamaño, para la inevitable operativa por lotes.
- Minimizar asimismo la necesidad de medios de transporte y manipulación de materiales, lo que en ingeniería de plantas se conoce como *manutención*.
- Reducir los tiempos de cambio de producto en las máquinas de propósito general, tan comunes en los talleres, siempre que lo aconseje el tamaño de los lotes y la magnitud de tales tiempos. En

los modelos de gestión avanzados, veremos que esto es una exigencia, dado que se opera con lotes muy pequeños.

- Controlar el nivel de inventario en curso, al que tan propicia es la producción por talleres; crear áreas limitadas para albergar las existencias, implantando tan solo las estrictamente necesarias. Además, gestionar la producción y sus tiempos tratando de minimizar el stock —por ejemplo, equilibrando los procesos con la operación condicionante, tal como ha sido ya expuesto.
- Reducir en lo posible la variabilidad de los procesos que ejecutar en los talleres, aunque éstos, de por sí, permitan que sea elevada (otra cosa es a qué coste lo consiguen); reducir, asimismo, la variabilidad de los tiempos de operación.
- Cuidar al máximo los aspectos que aseguren la calidad y el mantenimiento correctos de las máquinas y equipos y de los procesos que se ejecutan con ellos, estableciéndolos de forma preventiva.

Aplicaremos a continuación todo ello a un caso-ejemplo, basado en las operaciones de dos productos, cuyos procesos se implantarán con una distribución por talleres. Los productos y sus procesos serán:

Operación	Armario metálico		Carrito portapiezas	
	Máquina	Operación	Máquina	Operación
1	Prensa	Embutido cuerpo	Tronzadora	Cortar tubos a medida
2	Prensa	Embutido puerta	Prensa	Conformar soportes
3	Taladro	Tal. para cerradura	Equipo soldar	Soldar estructura
4	Equipo soldar	Soldadura bisagras	Equipo soldar	Soldar soportes
5	Equipo pintar	Pintado conjunto	Equipo pintar	Pintado conjunto
6	Mesa montar	Montaje conjunto	Mesa montar	Montaje carro y ruedas

La distribución, inicialmente, sería del tipo de la mostrada en la figura 2.7 del capítulo 2, es decir, funcional con las características que se dan de una forma sistemática en los talleres: equipos propios del tipo de planta agrupados funcionalmente (las máquinas del mismo tipo en la misma zona, etc.), con pasillos que recorren el taller discurriendo entre las áreas destinadas a las diferentes máquinas o equipamientos de producción, a fin de poder trasladarse desde cualquier máquina a cualquier otra. Las rutas pueden ser tan dispares como lo sean sus procesos e, incluso, se entrecruzan (tal como ya se apreciaba en la citada figura).

Una de las características básicas de la distribución por talleres es la disposición de máquinas y equipamientos de propósito más o menos general capaces, por tanto, de llevar a cabo la producción de piezas muy distintas; además, como se da la circunstancia muy característica de este tipo de disposición en planta de que diversos productos pueden pasar por las mismas máquinas, se podrán formar colas de materiales a procesar en las mismas; así, por ejemplo, en la mencionada figura 2.7, los dos productos deben pasar por una operación de pintura, por lo que puede ocurrir que, al llegar el carrito para pintarlo, el armario esté aún en proceso en esta misma operación y el carrito deba esperar. Esto jamás puede ocurrir en una implantación en flujo o cadena, en la que, como sabemos, se duplican, triplican o repiten los equipos de producción tantas veces como sea preciso, puesto que están dedicados exclusivamente al producto procesado en la línea.

Vamos pues, a dar las pautas por las que puede regirse la implantación de procesos de producción de tipo funcional o por talleres, modalidad especial de distribución en planta que, aunque los sistemas más avanzados de gestión de la producción existentes en la actualidad tratan de evitarla, está muy arraigada para determinados tipos de producción, tanto en el mundo industrial como en los servicios. Concretamente, las fabricaciones en pequeños lotes de productos muy diversificados, los productos muy innovadores y otros casos similares utilizan con gran frecuencia la distribución tipo funcional o por talleres, sobre todo cuando aplicar las alternativas que tendrían resultaría excesivamente complejo para los objetivos y la competitividad que precisan.

Los problemas fundamentales que presentan las implantaciones tipo taller son:

1. La distribución ideal de los equipos, que, aunque no deben ajustarse a ningún proceso de producto alguno en concreto, sí que deben acomodarse al conjunto de todos ellos, en la medida que puedan preverse.
2. El tamaño de los lotes de producción en cada puesto de trabajo. La producción de tipo funcional se caracteriza por operar por lotes, dada la dificultad de transferir el material entre puestos no vinculados entre sí y, también, no nos engañemos, para preservar la independencia de tales puestos.
3. La secuenciación de las órdenes de fabricación o de servicio, que dé lugar a la menor cantidad posible de tiempo perdido en forma de colas, en función de las operaciones que requieran y el tiempo de proceso en cada una.

A tenor de todo ello, vamos a exponer los criterios por los que podemos regirnos para llevar a cabo la distribución óptima de este tipo de implantación, lo que no resulta fácil ni tiene una solución única, puesto que hay muchas combinaciones entre las que elegir. Por ello, habremos de movernos por criterios basados en la frecuencia y dificultad medias en las transferencias dentro del taller, así como las prioridades de las mismas.

Código	Nivel de prioridad	Símbolo relacional
PPP	Muy alta prioridad: proximidad indispensable	=====
PP	Alta prioridad: proximidad importante	=====
P	Prioridad normal: proximidad interesante	=====
I	Prioridad baja: proximidad sin interés especial	-----
O	No prioridad: proximidad sin interés alguno	(sin indicativo relacional)
X	Prioridad negativa: proximidad indeseable	←→
Código	Motivaciones para el nivel de prioridad	
1	Flujo rápido e intenso del producto	
2	Flujo de producto a facilitar	
3	Flujo de producto inexistente	
4	Flujo de personal	
5	Elementos de manutención fijos existentes	
6	Elementos de manutención móviles utilizables	
7	Peso, tamaño u otras características del producto	
8	Recursos compartidos	
9	Seguridad	
10	Contaminación	

Figura 4.5. Codificación de las prioridades de aproximación y sus motivaciones.

Ante todo vamos a realizar una primera aproximación a la distribución en planta, de tipo cualitativo, basada en la prioridad de proximidad entre los equipos de la planta, para lo que se definirá una codificación de estas prioridades, así como también de los motivos en que se basan las prioridades. La tabla de la figura 4.5 presenta una propuesta de codificación.

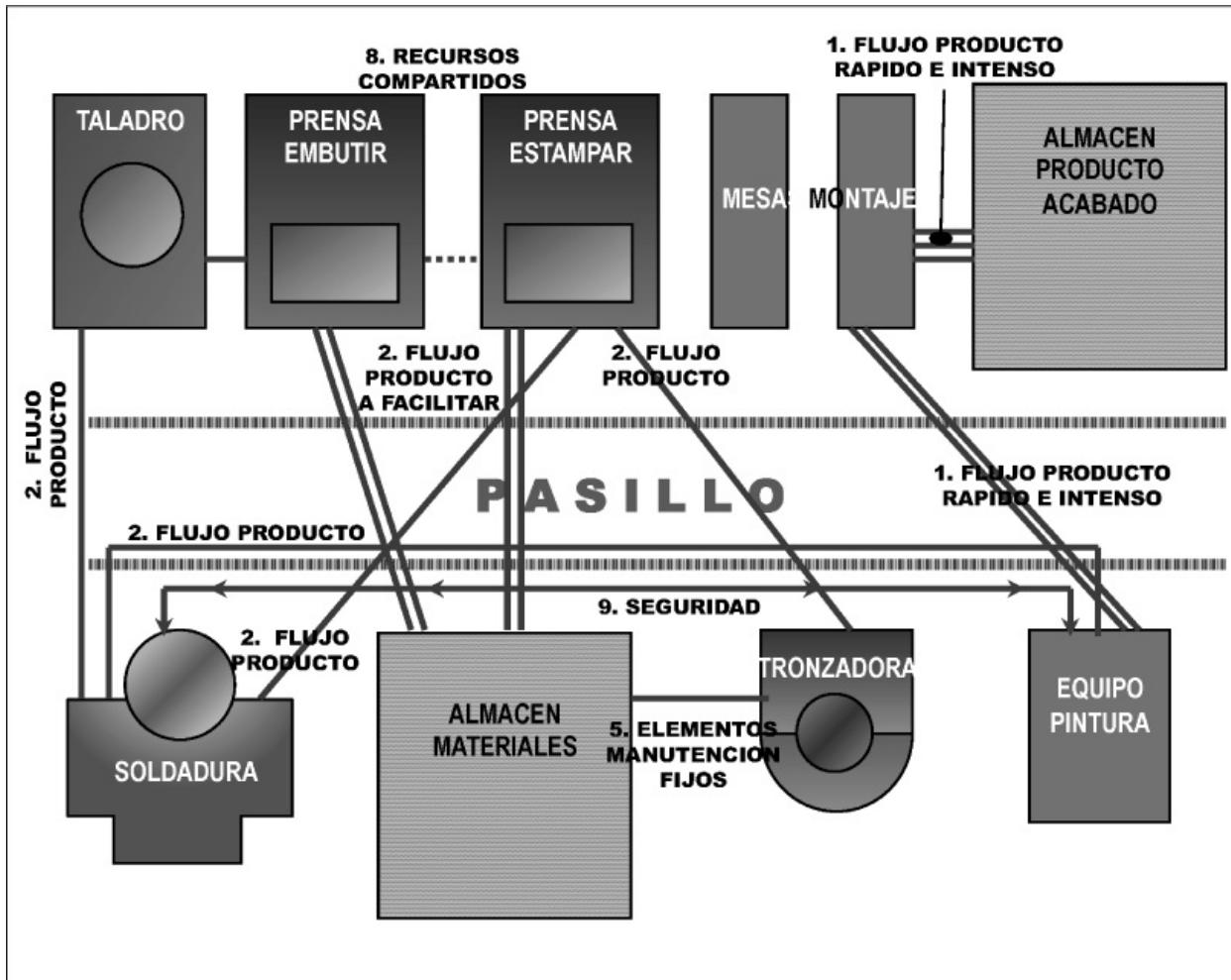


Figura 4.6. Propuesta inicial para implantación tipo taller.

Para obtener una primera aproximación de la distribución, de acuerdo con las prioridades de aproximación, utilizaremos el ejemplo de la planta tipo taller en la que tiene lugar la fabricación de los dos productos ya presentados anteriormente (armario metálico y carrito). Partiremos de una primera aproximación a la distribución de los puestos de trabajo de la planta, de acuerdo con las prioridades de aproximación y sus motivaciones.

La figura 4.6 muestra esta primera aproximación para el caso de la planta para la fabricación de los dos productos pretendidos. En ella aparecen, exclusivamente, los equipos que intervienen en dicha producción que, a su vez, coinciden —situados de una forma más apropiada— con los de la planta de la figura 2.7 ya referida.

Puede apreciarse que los distintos equipos que componen esta primera propuesta de implantación están ligados mediante los símbolos propuestos en

la tabla de la figura 4.5, de acuerdo con el nivel de prioridad, junto a las motivaciones específicas de cada caso.

Así pues, destacaremos que las prensas y la tronzadora se hallarán cerca del almacén de materia prima, ya que se nutren asiduamente del mismo (prioridad PP, motivo 1, flujo rápido e intenso de producto); por idéntica razón, la mesa de montaje se hallará muy cerca del almacén de producto acabado, ya que a éste va a parar, indefectiblemente, el producto ensamblado en la mesa (prioridad PPP, también motivo 1). Por el contrario, el equipo de soldar y el equipo de pintar no deben estar próximos, por razones de seguridad, ya que en la soldadura se desprenden chispas y en la pintura hay disolventes inflamables (prioridad negativa X, motivo 9, seguridad), aunque no puede olvidarse que existe flujo de producto entre ambos equipos (lo que motiva una relación de prioridad normal P que no deberá prevalecer frente a la anterior X por motivos de seguridad).

Junto con las relaciones citadas, se dan otras varias de prioridad normal por flujo de producto que, aunque basadas en los dos productos que nos ocupan, están pensadas para otras posibilidades futuras del taller que, como tal, tiene grandes posibilidades de cambiar de productos y, por tanto, de flujos; en efecto, estas relaciones de prioridad normal están establecidas entre las prensas, el taladro y la soldadura, que se mantendrán fácilmente en el taller, sean cuales sean los productos manufacturados. Finalmente queda la relación entre el almacén de materiales y la tronzadora derivada de la existencia de un sistema de transporte por cinta (fijo), independiente de los productos que se realicen, así como la relación entre las dos prensas por recursos compartidos (personal y herramientas).

Aunque estamos analizando aspectos cualitativos, podemos introducir una valoración relativa para la implantación realizada y, sobre todo, las subsiguientes modificaciones por medio de las cuales trataremos de optimizar el modelo resultante. Esta valoración se hará atendiendo a la prioridad (códigos ya dados), la distancia entre equipos y dificultad/coste del transporte y, finalmente, la carga/descarga. Para cada uno de los tres aspectos realizaremos la valoración por medio de una tabla:

1) *Tabla de valoraciones de la prioridad:*

PPP	PP	P	I	O	X
5	4	3	1	0	- 5

2) *Tabla de valoraciones por distancia:*

Estaciones de trabajo contiguas	5
Estaciones a ambos lados del pasillo, frente a frente	4
Estaciones al mismo lado del pasillo, separadas media longitud del mismo	3
Estaciones a ambos lados del pasillo, separadas media longitud del mismo	2
Estaciones al mismo lado del pasillo y a ambos extremos del mismo	1
Estaciones a ambos lados del pasillo y a ambos extremos del mismo	0

3) *Tabla de valoración de la dificultad/coste del transporte y de carga/descarga:*

Producto pequeño/ligero y transporte por cinta o cadena	5
Personas andando con poco o ningún peso o volumen	5
Producto grande/pesado y transporte por cinta o cadena	4
Producto pequeño/ligero y transporte en cajas o similar sobre carro manual	4
Producto pequeño/ligero. Transporte, en carretilla elevadora	3
Producto grande/pesado. Transporte en carretilla elevadora o similar	2
Producto grande/pesado y transporte por grúa puente o pórtico o similar	1

Veamos cómo quedaría la valoración en la implantación de tipo taller que nos ocupa:

1. Mesas montaje- almacén producto:
 - Prioridad: PPP (5)
 - Distancia: contiguos (5)
 - Transporte-dificultad: producto ligero y transporte en carro (4)
2. Almacén materiales-prensa de embutir:
 - Prioridad: PP (4)
 - Distancia: frente a frente a ambos lados del pasillo (4)
 - Transporte-dificultad: producto grande y transporte por carretilla (2)
3. Almacén materiales-prensa de estampar:
 - Prioridad: PP (4)
 - Distancia: frente a frente a ambos lados del pasillo (4)
 - Transporte-dificultad: producto pequeño en cajas y carro manual (4)
4. Equipo pintura-mesas montaje:
 - Prioridad: PP (4)
 - Distancia: frente a ambos lados del pasillo (4)
 - Transporte-dificultad: producto pequeño colgado de cadena (5)
5. Almacén materiales-tronzadora:
 - Prioridad: P (3)
 - Distancia: contiguos (5)
 - Transporte-dificultad: producto grande (largo) sobre cinta (4)
6. Prensa de embutir-taladro:
 - Prioridad: P (3)
 - Distancia: contiguos (5)
 - Transporte-dificultad: producto pequeño en cajas y carro manual (4)
7. Taladro-soldadura:
 - Prioridad: P (3)
 - Distancia: frente a frente a ambos lados del pasillo (4)

- Transporte-dificultad: producto pequeño en carretilla (3)
8. Prensa de estampar-tronzadora:
- Prioridad: P (3)
 - Distancia: frente a frente a ambos lados del pasillo (4)
 - Transporte-dificultad: producto pequeño en cajas y carro manual (4)
9. Prensa de estampar-soldadura:
- Prioridad: P (3)
 - Distancia: A ambos lados de pasillo a media longitud de éste (2)
 - Transporte-dificultad: producto pequeño en cajas y carro manual (4)
10. Prensa de embutir-prensa de estampar:
- Prioridad: I (1)
 - Distancia: contiguos (5)
 - Transporte-dificultad: personas andando con poco o ningún peso/volumen (5)
11. Soldadura-pintura:
- Prioridad: negativa X (- 5)
 - Distancia: a ambos extremos del pasillo y al mismo lado de éste (1)
 - Transporte-dificultad: producto pequeño en carretilla (3)
12. Soldadura-pintura:
- Prioridad: P (3)
 - Distancia: a ambos extremos del pasillo y al mismo lado de éste (1)
 - Transporte-dificultad: producto pequeño en carretilla (3)

En total, la evaluación relativa de esta primera propuesta ascenderá a 523.

Ahora podemos depurar la solución propuesta con cambios, que será conveniente efectuar intercambiando solo dos equipos o grupos de ellos entre sí, para evaluar nuevamente la solución y comprobar si ha producido una mejora; en caso contrario, desecharemos la modificación. Seguiremos procediendo así hasta que la propuesta de implantación tipo taller no consiga aumentar su valoración.

Como pautas para las propuestas de modificación, digamos que será

conveniente tratar de acercar más los equipos relacionados con niveles de prioridad altos (o alejar aquellos que tienen prioridad negativa), sobre todo si el transporte y la carga/descarga tienen cierta complejidad, aunque ello suponga alejar algo equipos con relación de prioridad normal o baja. Así, por ejemplo, operando como se ha dicho, es decir, por intercambio simple de equipos o grupos de ellos entre sí, puede proponerse intercambiar el grupo de las dos prensas por el equipo de soldar que, además, situaremos a la izquierda del taladro y no a su derecha, con lo que habremos reducido la distancia en dos casos de prioridad PP (las prensas) y alejado más los dos equipos con prioridad negativa X, aunque ello comporte alejar algún otro equipo con relación de prioridad P. La figura 4.7 muestra la nueva propuesta, supuestamente mejorada, de distribución en planta.

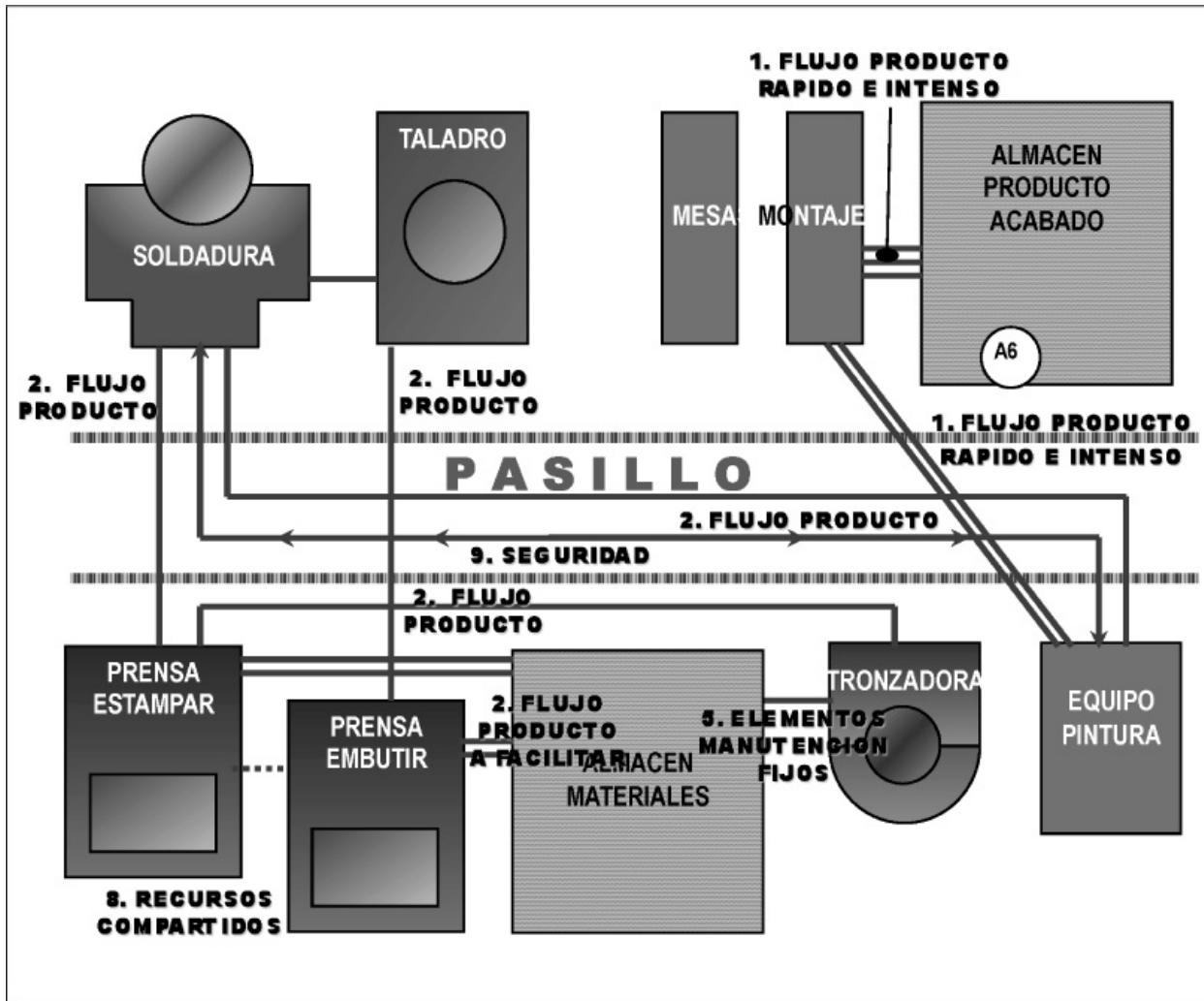


Figura 4.7. Propuesta mejorada para implantación tipo taller.

Veamos cuál es la evaluación relativa de la nueva solución:

1. Mesas montaje- almacén producto:
 - Prioridad: PPP (5)
 - Distancia: contiguos (5)
 - Transporte- dificultad: producto ligero y transporte en carro (4)
2. Almacén materiales- prensa de embutir:
 - Prioridad: PP (4)
 - Distancia: contiguos (5)
 - Transporte-dificultad: producto grande y transporte por cinta (4)
 - (cambio favorecido por la gran reducción de distancia)
3. Almacén materiales-prensa de estampar:
 - Prioridad: PP (4)
 - Distancia: a medio pasillo al mismo lado de éste (3)
 - Transporte-dificultad: producto pequeño en cajas y carro manual (4)
4. Equipo pintura-mesas montaje:
 - Prioridad: PP (4)
 - Distancia: frente a frente a ambos lados del pasillo (4)
 - Transporte-dificultad: producto pequeño colgado de cadena (5)
5. Almacén materiales-Tronzadora:
 - Prioridad: P (3)
 - Distancia: contiguos (5)
 - Transporte dificultad: producto grande (largo) sobre cinta (4)
6. Prensa de embutir-taladro:
 - Prioridad: P (3)
 - Distancia: frente a frente a ambos lados del pasillo (4)
 - Transporte-dificultad: producto pequeño en cajas y carro manual (4)
7. Taladro-soldadura:
 - Prioridad: P (3)
 - Distancia: frente a frente a ambos lados del pasillo (4)
 - Transporte-dificultad: producto pequeño en carretilla (3)
8. Prensa de estampar-tronzadora:

- Prioridad: P (3)
 - Distancia: a medio pasillo al mismo lado de éste (3)
 - Transporte-dificultad: producto pequeño en cajas y carro manual (4)
9. Prensa de estampar-soldadura:
- Prioridad: P (3)
 - Distancia: frente a frente a ambos lados de pasillo (4)
 - Transporte-dificultad: producto pequeño en cajas y carro manual (4)
10. Prensa de embutir-prensa de estampar:
- Prioridad: I (1)
 - Distancia: contiguos (5)
 - Transporte-dificultad: personas andando con poco o ningún peso/volumen (5)
11. Soldadura-pintura:
- Prioridad: negativa X (- 5)
 - Distancia: a ambos extremos del pasillo y distinto lado del mismo (0)
 - Transporte-dificultad: producto pequeño en carretilla (3)
12. Soldadura-pintura:
- Prioridad: P (3)
 - Distancia: a ambos extremos del pasillo y distinto lado del mismo (0)
 - Transporte-dificultad: producto pequeño en carretilla (3)

En conjunto, la valoración alcanzada será de 561, mejor que la anterior en 38 puntos y con los flujos prioritarios mejorados y los centros con proximidad indeseable más alejados. Además, el almacén de materiales se ha situado más al centro de la planta, por lo que si llegara un momento en que otros equipos necesitaran materiales almacenados en el mismo, sería muy probable que los tuvieran más cerca. Finalmente, ha mejorado el transporte por acercamiento en la alimentación de la prensa de embutir.

Esta solución podemos darla como definitiva o continuar mejorándola, lo que supondría repetir, del mismo modo, la operativa que acabamos realizar.

5

MODELOS DE DISEÑO E IMPLANTACIÓN EN INGENIERÍA DE PROCESOS

LEAN MANUFACTURING

5.1. Los enfoques avanzados en el diseño e implantación de procesos productivos: *lean manufacturing*

El *lean management*, más conocido como *lean manufacturing* cuando se aplica a procesos industriales, es un modelo de diseño e implantación de procesos, basado en llevar a cabo aquello y solo aquello que es preciso para entregar al cliente lo que desea exactamente, en la cantidad que desea y justo cuando lo desea, y a un precio competitivo. Ni más ni menos. Ello puede expresarse diciendo que el objetivo de un sistema *lean* es entregar al cliente el producto o servicio exactamente solicitado por él, con el máximo ajuste a sus especificaciones (calidad), el mínimo consumo de recursos productivos (coste) y la máxima rapidez de respuesta (tiempo).

El *lean management* fue desarrollado por el equipo de James P. Womack, desde EE.UU., donde creó el *Lean Enterprise Institute*. Womack configuró el

modelo *lean* a partir del que desarrolló Toyota para la fabricación de automóviles, pero aplicándolo a todo tipo de productos y, también, servicios. En la figura 5.1 vemos a J. P. Womack con el autor de este libro.



Figura 5.1. J. P. Womack y el autor de esta obra.

Una implantación *lean* de procesos lo será cuando se halle integrada por actividades que añadan valor al producto con un consumo de recursos minimizado. Estos conceptos nos llevan al concepto central del modelo, el denominado *desperdicio* o *despilfarro* (*waste* en inglés y *muda* en la cultura japonesa, de donde procede), que fue desarrollado por Toyota y en el que basó su *Just in Time*, el modelo de gestión en sí.

Mediante el *lean management* se obtienen productos y servicios con rapidez y a bajo coste, ya que se evita llevar a cabo ninguna actividad innecesaria, a todo lo largo del *flujo de valor* de tales productos y servicios (es decir, comprendiendo todo el flujo de actividades, desde que se planifica y diseña el producto, pasando por las operaciones de producción, hasta que lo disfruta el cliente).

Dos son los elementos clave para la implementación del *lean management*:

- a) La eliminación de los *desperdicios*, es decir, las actividades innecesarias a las que hemos aludido, las que en terminología *lean*, «no aportan valor al producto». Así, por ejemplo, no puede pretenderse vender

un producto a un precio que cubra el coste de un recorrido de tres quilómetros a lo largo de los procesos de fabricación, aunque este transporte cueste dinero, ya que el cliente no valorará estas actividades (el transporte pasará a ser, pues, un desperdicio). Los desperdicios tienen un papel muy importante como elemento que permite minimizar el coste, sin necesidad de recurrir a las economías de escala, como hace el mundo tradicional. Ello permite producir lotes pequeños de forma eficiente y, por supuesto, ceñirse al volumen requerido por la demanda.

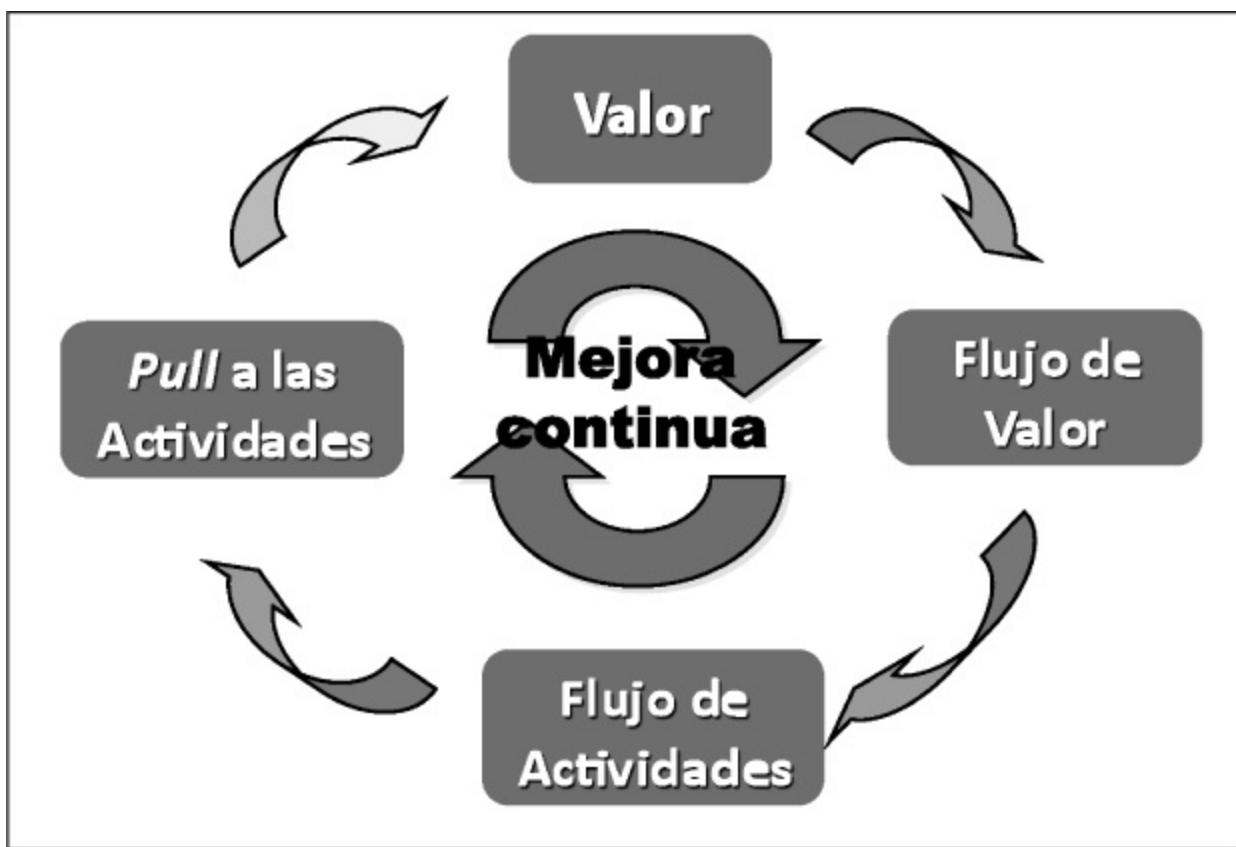


Figura 5.2. Principios básicos del *lean management*.

- b) Un nivel importante de *flexibilidad*, ya que el *lean management* pretende, como hemos expuesto, aquello demandado por el cliente, en la cantidad y en el momento requeridos, lo que exige un sistema productivo altamente flexible.

Veamos ahora cuáles son los principios básicos del *lean management*¹, que se

apoyan en los dos elementos clave expuestos. Son los que siguen, esquematizados en la figura 5.2:

1. *Valor:*

Éste es el primer principio del *lean management*, que implica que el producto o servicio debe ajustarse a lo que el cliente requiera, lo que ya ha quedado definido como un aspecto clave. Asimismo, todas las actividades de sus procesos de producción han de aportar valor al producto.

El consumidor es quien valora realmente el producto, pero hay multitud de motivos por los que al productor le suele ser difícil identificar correctamente el valor de un producto o bien lo condicionan la experiencia de los ingenieros de producto, la tecnología disponible, los equipos productivos existentes, las tendencias del mercado en el que se fabrica (y no las del mercado de destino), las organizaciones productivas, sus tendencias y su cultura empresarial y un largo etcétera. Todos ellos condicionan habitualmente cómo ha de ser el producto y lo que supuestamente le confiere valor.

Por otra parte, las economías de escala —tan arraigadas en la producción convencional— tratan de forzar al cliente a aceptar lo que el productor obtiene buscando su propia eficiencia, en lugar de ofrecer lo que valora el consumidor. Las organizaciones empresariales que operan de esta manera se mueven por objetivos ligados a la propia organización, en lugar de la satisfacción del cliente, el verdadero objetivo de las organizaciones avanzadas y del *lean management* en particular.

2. *Flujo de valor:*

Este principio hace referencia a la cadena de actividades que conducen a la obtención del producto y cómo van aportando valor al mismo. En la medida que esta cadena de valor incluye actividades que aportan valor (como corte, soldadura, pintura, ensamblaje, etc.) con otras que no lo hacen (como búsqueda de herramientas, movimientos inútiles, esperas de producto a pie de máquina, transportes evitables, controles de calidad, etc.), el valor no progresará de forma regular y

constante, que es el objetivo de este principio.

Ello supone que la gestión *lean* va más allá de los límites de un departamento e, incluso, de una empresa, al tratar de optimizar todo el flujo de valor por medio de acuerdos con proveedores y distribuidores hacia el cliente (desde la concepción del producto hasta que el cliente lo tiene en sus manos).

3. *Flujo de actividades:*

El flujo de valor tiene lugar en procesos de producción reales, en los que hay que eliminar hasta donde sea posible las actividades sin valor añadido o desperdicios. Ello implicará no introducir en el flujo actividades tales como transportes o movimientos innecesarios, stock de materiales o productos y esperas de todo tipo, entre otras.

Por ello, este principio se traduce en una implantación física de los procesos *en flujo*, al disponer las actividades en secuencia y muy cerca unas de otras, con el producto avanzar de forma regular y constante y moverlo en cantidades muy pequeñas, de una sola unidad si es posible, tratando siempre de que el producto no pare en ningún caso. Este planteamiento supone la tendencia contraria a la implantación funcional, al concentrar actividades afines y operando en grandes lotes (lo que sí hace la gestión convencional).

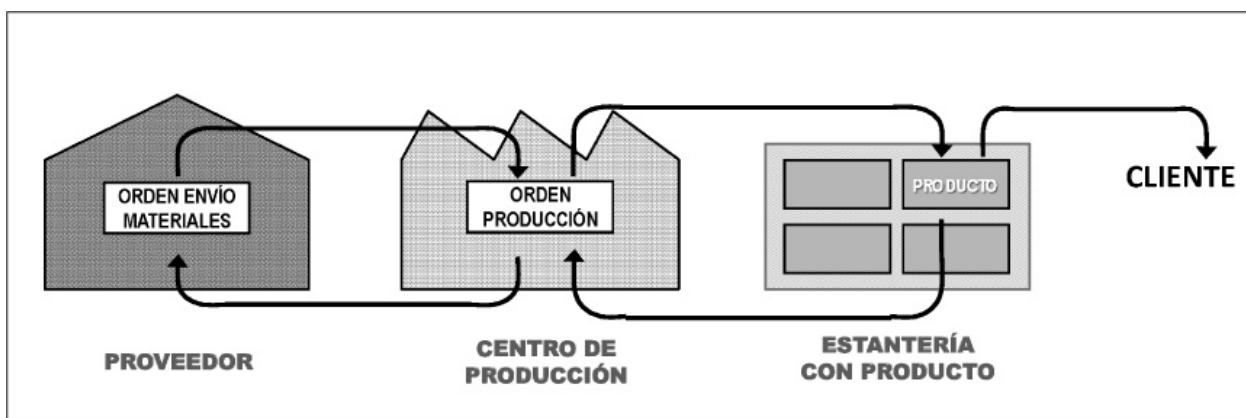


Figura 5.3. Producción y distribución *pull*.

4. *Ejecución de los procesos en modo pull:*

Una vez diseñados y desarrollados los productos y procesos de forma que se ajusten a los requerimientos de los clientes y exentos de

desperdicios, ha llegado al momento de producir. Para seguir en la línea de ajustarse solo a lo requerido por los clientes en producto, cantidad y momento, correspondería llevar a cabo la producción de forma que se iniciara a partir de una demanda constatada en tipo de producto, volumen de producción y momento para efectuarla. Ello nos llevará a actuar de acuerdo con el sistema *pull*, es decir, *tirar* de la demanda y producir lo solicitado por ella (lo contrario al sistema *push* del mundo convencional, que planifica producir de acuerdo con la capacidad de producción existente, lotes lo más grandes posible sobre previsiones y, luego, *empujar* el producto al mercado). La figura 5.3 esquematiza la operativa *pull*.

Puede observarse en la figura que, cuando el cliente retira el producto, queda un hueco en la estantería del almacén que indica lo que debe reponerse (llamamos a este sistema *supermercado* porque tiene los materiales clasificados y se reponen a medida que se retiran, lo mismo que ocurre en los supermercados de alimentación). Así pues, el hueco dejado por el material retirado debe generar un pedido del mismo tipo y cantidad de producto para el centro de producción, mediante cualquier sistema de señal, tal como una tarjeta (que los japoneses llaman *kanban*). Una vez elaborado el producto, se envía al supermercado junto con una tarjeta *kanban* que certifica la reposición, y se cierra así el circuito. Con este sistema, siempre se acabará produciendo solo los productos de los que ha habido demanda y, precisamente, en la cantidad demandada. A su vez, el centro de producción que elabora el producto gastará recursos que pide a su proveedor, para que los reponga y así sucesivamente; el sistema *pull* comienza en la demanda del cliente y ésta se va trasladando hacia atrás.

El problema para operar en modo *pull* puede ser el *lead time* o plazo de entrega al cliente. Solo con plazos cortos o muy cortos es posible *aguantar* esperando la solicitud de los clientes para empezar a producir. Pero la gestión *lean management*, tal y como ha sido expuesta, opera con gran rapidez de respuesta, ya que la producción en flujo, con el material avanzando unidad a unidad o en pequeños lotes (sin esperar a que acaben los demás) permite entregar el producto en un tiempo muy corto.

Finalmente, la secuencia de los cuatro principios del *lean management*:

VALOR → FLUJO DE VALOR → FLUJO DE ACTIVIDADES → PULL

deberá estar sujeta a una *mejora continua* (véase figura 5.2, en el centro) que implicará retomar nuevamente la *rueda* de los cuatro principios y mejorar el producto y sus prestaciones, el flujo de valor y el flujo de las actividades, al eliminar nuevos despilfarros y potenciar el modo de operar *pull*, que, a medida que se mejore el proceso, será más fácil adoptar plenamente. Esta rueda, mejorando una y otra vez los cuatro principios, no tiene fin, porque nunca llegarán a eliminarse por completo todos los desperdicios.

5.2. Valor añadido y desperdicios en los procesos

De acuerdo con lo ya expuesto, llevar a cabo el flujo de valor completo de un producto o servicio, sin acometer ninguna actividad *sin valor añadido* —que el consumidor final no valoraría, pero tendría un coste—, es la base fundamental del *lean management* y lo que los principios expuestos persiguen implacablemente.

En realidad, podemos distinguir hasta tres tipos de actividades en los procesos:

- a) *Actividades con valor añadido*: que convierten o transforman los materiales o la información, de manera que se adaptan a las necesidades de los usuarios, que se hallan dispuestos a pagar por ellas.
- b) *Actividades sin valor añadido*: son las necesarias para el sistema o proceso, pero no contribuyen a comunicar valor al producto o servicio o para la satisfacción del cliente. Es decir, no aportan valor, pero no pueden eliminarse, en ocasiones, por problemas técnicos de medios de producción.
- c) *Desperdicios (waste o muda)*: todo lo que no sea la cantidad mínima de equipo, materiales, piezas, espacio y tiempo del operario, que

resulten absolutamente esenciales para añadir valor al producto (Toyota).

Para hacernos una idea cabal de la magnitud de la problemática del despilfarro, baste considerar que los tres grandes recursos de los sistemas productivos operan, con gran frecuencia, a un nivel muy bajo. En efecto, es corriente encontrar:

- ✓ *Materiales*: pueden estar porcentajes muy elevados de su tiempo (con frecuencia más del ochenta por ciento), almacenados, en espera de ser transportados o procesados, o en traslado, pero NO en proceso.
- ✓ *Personal*: puede estar también una fracción muy elevada de su tiempo parado, por ejemplo *vigilando* un proceso, o en movimiento que no añada valor al producto, como sería el caso ir de un lado a otro buscando alguna herramienta, útil, material, papeles, etc.
- ✓ *Máquinas y equipamientos de producción*: el hecho de estar parados no es en sí un desperdicio, a menos que haya otros recursos parados junto a ellos (personas, materiales, etc.). Al contrario, el desperdicio sería tenerlos en marcha produciendo un material o producto que no se necesita.

Sin embargo, también con las máquinas se dan, con gran frecuencia, situaciones que comportan la existencia de desperdicio: cuando están paradas o funcionando a una velocidad inferior a la que corresponda, cuando están paradas esperando materiales que no llegan, cuando están aguardando una operación de preparación para un proceso, cuando precisan una operación de mantenimiento y, por supuesto, cuando están averiadas o procesando productos defectuosos que deberán ser reprocesados.

Los beneficios de eliminar desperdicios en el lean management superan hoy, con mucho, los derivados de las economías de escala en la gestión convencional.

Sin embargo, el concepto de desperdicio parece sencillo de entender, pero en la práctica exige un ejercicio de cambio de mentalidad más fuerte de lo que parece:

Un ejemplo lo aclarará: en una operación que trabaja para un proceso que

tiene una capacidad de producción de una unidad por minuto, un trabajador es capaz de entregar una unidad de producto antes de este tiempo. ¿Qué hace? Incluso con la gestión tradicional en *masa-batch and queue* mejorada con el modelo de gestión que propone equilibrar el proceso basada en su operación condicionante, este trabajador habría de ajustar su ritmo al de dicha operación. Sin embargo, la gestión —por no decir la mentalidad— tradicional dirá que mejor empezar una nueva unidad que no estar esperando y recordará al operario que trabaja a prima.

Sin embargo, de este modo generará más producto en proceso, deberá buscar un lugar para depositarlo, un medio de transportarlo y realizar el transporte. Además, a medida que crezca el stock (¡que lo hará!), habrá que prever más espacio y una forma de clasificar o etiquetar el material y, si acaba por convertirse en un auténtico almacén (que se conocen como *buffers*), se acabará involucrando más personal para su gestión. Además, se habrá de comprar más materiales para producir, sin que todo ello tenga incidencia alguna en mejorar las ventas.

Esto supone incurrir en una cascada de desperdicios generados por la sobreproducción de este puesto.

Para proceder a la elaboración de un sistema de gestión que pueda eliminar los desperdicios o, cuanto menos, reducirlos al máximo (en el caso de las actividades sin valor añadido pero inevitables), será necesario conocer qué actividades pueden considerarse como tales. Toyota las clasificó en siete tipos esenciales, que responden a dos aspectos clave del *lean management* que se hallan íntimamente relacionados:

- Actividades que no aportan valor alguno al producto, por lo que normalmente tampoco reportarán ingresos pero, en cambio, es inevitable que tengan un coste.
- Actividades que suponen una inversión de dinero innecesaria o prematura, lo que aumenta la cantidad invertida o el tiempo hasta recuperar la inversión y, con ello, las necesidades de financiación, así como el coste financiero y, con frecuencia, algunos de tipo operativo.

Ambos aspectos tienen en común incurrir en costes innecesarios y, de una u otra manera, actividades que podrían evitarse, es decir que se podría lograr el

producto con menos coste y un tiempo total de actividades hasta la entrega del producto (*lead time*) más corto.

Veamos cuáles son, qué los caracteriza y por qué son desperdicios a eliminar cada uno de los siete tipos de desperdicio —incidiendo especialmente en los aspectos que afectan más directamente a la ingeniería de procesos—, en los que, como contramedida, encontraremos los grandes principios expuestos:

1. *Sobreproducción:*

Consiste en *producir más allá de la cantidad solicitada de producto o antes de que sea solicitada*.

La sobreproducción supone producir aquello que no tiene un cliente que espera recibirla o que se anticipa en el tiempo la entrega prevista, lo que supone gastar recursos (materiales, mano de obra, energía, etc.) inútilmente o antes de tiempo, en cuyo caso se anticipan las inversiones correspondientes.

Es evidente que si se admite supeditar la producción a la demanda, los medios de producción ya no se emplearán al máximo de su capacidad como en el modelo de gestión tradicional, sino que podrán llegar a utilizarse de forma intermitente. Sin embargo, Toyota demostró que parar una máquina supone un coste en forma de amortización de la misma —que es contable y no supone desembolso alguno—, mientras que continuar produciendo con ella sin un cliente supone incurrir en los costes de producción ya citados que, además, exigen desembolsar recursos financieros.

La contramedida para este desperdicio se halla, evidentemente, en el cuarto principio, operativa *pull*: no producir si el cliente o proceso que sigue no necesita producto.

2. *Sobreprocesamiento:*

Consiste en *consumir una cantidad excesiva de recursos para llevar a cabo una actividad productiva*: más tiempo, más material, más energía, etc.

De la misma manera que los recursos gastados pueden ser varios, las causas pueden ser muchas: no comprender suficientemente bien los requerimientos del cliente, utilizar métodos de trabajo superables o no estandarizados, mala formación de los trabajadores, máquinas y/o herramientas que no se adaptan bien al proceso y un largo etcétera.

Las contramedidas, en este caso, pueden ser bastantes, tantas como causas, pero el flujo de valor y, por tanto, el segundo de los principios, será un buen indicador de la eliminación del sobreprocesamiento, a medida que el flujo sea más regular y constante. Pero si algún principio permite afrontar el sobreprocesamiento, es el final que pretende mejorar el nivel de los cuatro, la mejora continua: más mejora, menos sobreprocesamiento, sea del tipo que sea.

3. *Inventario o stock:*

Es éste un desperdicio de mucho calado, que se refiere al *material o producto estacionado: materia prima, producto en curso, producto acabado, producto haciendo cola para ser procesado en un puesto, producto en espera de un control de calidad o reprocesado, etc.*

Desde el momento que la sobreproducción es un desperdicio, éste lo es también, de forma automática, ya que supone disponer de materiales o productos para cuando se puedan necesitar (si llegan a necesitarse). Curiosamente, el stock es algo muy valorado en el modelo de gestión tradicional: i.e., cuando todos los puestos de trabajo tienen materiales (¿de sobras?) para trabajar, el empresario se queda tranquilo...

Con una gestión *Just in Time (JIT)*, la desarrollada por Toyota, no debería ser necesario el stock o, para ser más realistas, con muy poco stock —por ejemplo, en supermercados— habría de ser suficiente. De nuevo, el principio cuarto, *pull*, es el que actúa como contramedida para este desperdicio. El stock supone un coste que, además de innecesario, es elevado: materiales cuya financiación debe avanzarse, transportes adicionales, espacio en almacenes, sistemas más o menos sofisticados de almacenaje, personal —no productivo— a cargo de tales almacenes, etc.

Pero lo que sí supone el stock es un inconveniente de bastante envergadura: las empresas lo utilizan para *tapar* problemas y que el sistema productivo no pare (almacén de material prima para aprovisionamientos mal programados, stock de producto extra para paliar el porcentaje de defectuosos o de tiempos en que las máquinas no funcionan, etc.). En definitiva, el problema no solo no se resuelve, sino que al estar *tapado* no se conoce su existencia. Desgraciadamente,

sus resultados, sí: mala calidad, coste elevado, entregas con retrasos...

4. *Transportes:*

Mover materiales o el producto en proceso o acabado. Resulta evidente que estamos hablando de un desperdicio, pues al mover materiales o productos, éstos no cambian en ningún aspecto.

Se trata de una pérdida de tiempo que, a veces, es inevitable (ejemplo del transporte desde una planta hasta el cliente), pero aun en este caso no aporta valor alguno, aunque puede tratarse como actividad del tipo *b* en la triple clasificación de actividades que hemos efectuado, en lugar de la *c*, que son evitables y, con ello, desperdicio.

El cambio de una implantación funcional (con las operaciones distantes) a una implantación en flujo o cadena sería la mejor contramedida para este desperdicio y, con ello, el principio tercero del *lean management*.

5. *Movimientos:*

Se trata de los trabajadores o empleados que han de moverse para llevar a cabo su actividad, pero sin aportar valor alguno.

Ello supone tener las actividades que deben desarrollar a su alcance y, desde luego, la planta y su puesto de trabajo bien organizados y ordenados (nos ocuparemos de ello un poco más adelante). El *layout* de la planta y la asignación de tareas a los trabajadores es fundamental para evitar este tipo de desperdicio. Por ello, los principios segundo y tercero —flujo de valor y flujo del proceso— son los que permiten incidir en este desperdicio, aunque, como todos ellos, el de la mejora continua es totalmente aplicable.

6. *Esperas.*

Entendemos como tales *cualquier elemento del sistema productivo parado (excepto las máquinas si no se precisa más producción y siempre que no tengan otro recursos parado con ellas).*

Tiempos de preparación, averías, falta de suministro de materiales o producto en curso, problemas de calidad, etc., pueden provocar esperas que, evidentemente, son *actividades* que no aportan nada, en absoluto, pero que, de una manera u otra, tienen su coste.

La cantidad de causas de este desperdicio también permite pensar en cualquiera de los principios, incluyendo la mejora continua, como contramedida. Además, aunque podamos poner ejemplos de ello para

cualquier desperdicio, puede ocurrir, también aquí que algunas esperas sean inevitables y en lugar de actividades de tipo *c*, podemos considerarlas como actividades que inevitablemente se precisan aunque no generan valor. Es el caso de los tiempos de preparación que, aunque sean inevitables, han podido reducirse con técnicas SMED (recordemos que este tipo de actividades no se podían eliminar, pero sí reducir su impacto).

7. *Reprocesado:*

Fruto de la falta de calidad, hay operaciones que se tienen que repetir o corregir, esto es el reprocesado, lo que supone que no habrá ninguna nueva aportación de valor.

El reprocesado, como todo desperdicio, implica pérdidas de tiempo y, con ello, retrasos, además de aumentos de coste, inversiones adicionales, etc.

Actualmente no se entiende otra calidad que la llamada FTQ (*first time quality* o calidad al primer intento), que, de estar asegurada, permitiría eliminar los controles de calidad, que tampoco aportan valor.

Una vez más, dependiendo de los problemas que generen mala calidad, serían de aplicación todos los principios del *lean management*, pero, especialmente, la mejora continua.

La figura 5.4 presenta la planta funcional *batch and queue* que se trató a propósito de la figura 4.1, con diversos desperdicios de los siete tipos expuestos, identificados por un código numérico.

5.2.1. Análisis de la eliminación de desperdicios en los procesos

El análisis de los desperdicios existentes en las actividades de un proceso, así como la mejora alcanzada a medida que se van erradicando, pueden ponerse de relieve por medio de un documento, como el que muestra la figura 5.5, aplicado a un caso-ejemplo de fabricación de una placa con un taladro y un chaflán.

En él, cada una de las actividades del proceso, descrita en la columna correspondiente, viene acompañada de su identificación, mediante un ícono

(actividad VA, actividad NVA, movimiento, espera, stock, control de calidad) que la asocia a una aportación de valor o desperdicio. Además, también figura el tiempo de proceso y, si ha lugar, la distancia que implica recorrer.

El documento viene preparado, además, para introducir toda esta información para el proceso tal y como se desarrolla actualmente (proceso actual) y, luego, para la nueva propuesta mejorada de proceso (proceso propuesto), para así poder comparar uno y otro. Para que esta comparación sea más completa, las distintas columnas vienen acompañadas de una casilla que indica el valor total correspondiente: número total de VA, NVA, movimientos, esperas, stocks, controles de calidad y, también, total de tiempo de proceso y distancia total recorrida.

Obsérvese la diferencia entre los tipos de actividades del proceso actual y el propuesto, así como entre los valores totales (que en el método propuesto no hemos evaluado para las actividades de las casillas con fondo gris, que no se contemplan en el proceso actual). Las diferencias entre ambas implantaciones del mismo proceso resultan, en este documento, claramente manifiestas y de forma muy visual.

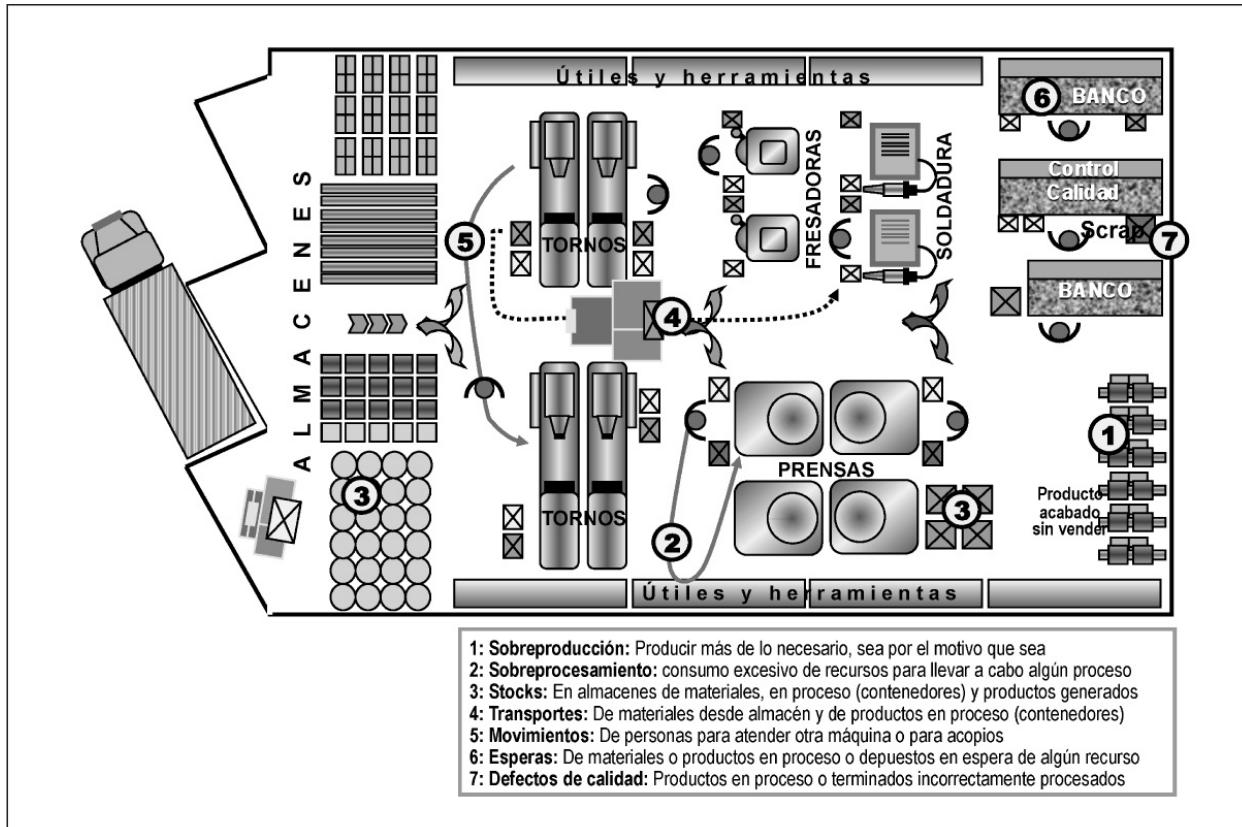


Figura 5.4. Los siete tipos de despilfarros, en una planta productiva convencional.

Los tipos de actividades establecidos y sus símbolos, se tratarán a fondo en documentos más completos para la mejora de procesos, al abordar los métodos de trabajo y su mejora en el capítulo correspondiente, y este mismo caso se tratará allí como ejemplo para el documento de recogida y análisis de datos del método.

5.3. 5S y SMED: herramientas clave para operar en modo *lean*

Dos aspectos fundamentales del *lean manufacturing* son la operativa a pequeña escala (aunque haya que renunciar a las economías de escala) y la eliminación de desperdicios, que comienza con una organización y orden muy rigurosos de las plantas de producción y sus procesos. Estos objetivos se alcanzan de una forma muy completa con las herramientas *lean* que expondremos en este apartado:

- ✓ 5S: para una *organización, orden y limpieza* completos y disciplinados.
- ✓ SMED: *cambios rápidos de formato* (el tiempo de preparación para una nueva serie) de las máquinas y equipos de producción, sin cuya rapidez no podrían abordarse series cortas y se imposibilitaría una correcta implantación *lean*.

5.3.1. La organización 5S: la base para las implantaciones eficientes

Los sistemas productivos ven muy favorecidos sus objetivos de eliminar desperdicios si parten de una buena organización que les evite perder tiempo en buscar, recoger y preparar elementos necesarios en la producción (materiales, herramientas, útiles, etc.). Ello se puede conseguir en grado sumo, mediante la implantación de un programa 5S, cuya aportación a la mejora de la eficiencia es directa y total; en efecto, como se verá, este programa presupondrá organización, orden, limpieza, estandarización y disciplina, actividades (y actitudes) estas que favorecen el ahorro de recursos y actividades

inútiles y, desde luego, suponen eficiencia. Los sistemas productivos *lean* no rendirían adecuadamente, si no tuvieran asimismo implantados de forma sistemática los programas 5S.

Las actividades básicas de un programa 5S son cinco, correspondientes a otras tantas palabras que en la fonética japonesa comienzan con ese. Son las siguientes:

ANÁLISIS DE LAS ACTIVIDADES DE PROCESOS ■ Proceso: Placa taladrada y chaflanada Fecha: 20-2-2008 Responsable: J. Ríos																		
Nº DE ORDEN ACTIVIDAD	PROCESO ACTUAL						PROCESO PROPUESTO											
	Actividad VA	Actividad NVA	Movimiento (pers./material)	Espera (tiempo vacío)	Stock (almacén o proceso)	Control de calidad	Descripción de la actividad	Tiempo de proceso (seg.)	Distancia recorrida(metros)	Actividad VA	Actividad NVA	Movimiento (persona /material)	Espera (tiempo vacío)	Stock (almacén o proceso)	Control de calidad	Descripción de la actividad	Tiempo de proceso (segundos)	Distancia recorrida (metros)
Tota-les»	1	2	1	1	(1)	1							155	76	1	0	65	1
1	●	○	➡	□	△	□	Fijar pieza en máquina	20	---	●	○	➡	□	△	□	Fijar pieza en máquina	20	---
2	●	○	➡	□	△	□	Taladrado	20	---	●	○	➡	□	△	□	Taladrado	20	---
3	●	○	➡	□	△	□	Extraer pieza de máquina	15	---	●	○	➡	□	△	□	Extraer pieza de máquina	15	---
4	●	○	➡	□	△	□	Control diámetro pieza	20	5	●	○	➡	□	△	□	Dejar en fresadora	10	1
5	●	○	➡	□	△	□	A contenedor y esperar	1.000	6	●	○	➡	□	△	□	Fijar pieza en máquina	30	---
6	●	○	➡	□	△	□	Transporte a fresadora	190	65	●	○	➡	□	△	□	chaflanado	60	---

Figura 5.5. Documento para el análisis de procesos y evaluación del nivel de desperdicios.

1. **Seiri** (*organización*): disponer los puestos de trabajo con los elementos que le son propios y eliminar aquellos que no tienen utilidad en ellos o a su alrededor, que estorban. Un sistema muy empleado consiste en adherir etiquetas rojas a todos aquellos elementos que sospechamos que no deberían estar en el puesto de trabajo y esperar un tiempo prudencial para deducir finalmente cuáles han desaparecido (porque han sido utilizados) y aquellos que no se han tocado. La figura 5.6 muestra un área con material para el trabajo con sus contenidos desorganizados y la figura 5.7, un área desorganizada, con tarjetas rojas y después, ya organizada y en la que puede observarse que

quedan aún algunas tarjetas rojas.

2. **Seiton (orden):** los elementos que componen el puesto de trabajo, una vez ya se han *organizado*, es decir que los que se hallan en el puesto o cerca de él deben estarlo y son útiles, deben ahora ordenarse, de forma que se pueda identificar rápidamente la ubicación de cualquiera de ellos por su naturaleza. La figura 5.8 enseña la misma área de la figura anterior ya ordenada.
3. **Seiso (limpieza):** todos los elementos de un lugar de trabajo han de estar siempre limpios y en orden de funcionamiento. La limpieza es hoy, con el TPM (Mantenimiento Productivo Total), una tarea del propio trabajador que opera con una máquina. La figura 5.9 indica el área de trabajo de las figuras anteriores, ya limpia, y la figura 5.10, la limpieza en máquinas de fabricación. La figura 5.11 presenta situaciones especiales en relación con la limpieza: acumulación de viruta procedente del mecanizado y acumulación de aceite en zonas que conforman una *bañera*, en este caso, en un cilindro hidráulico.
4. **Seiketsu (estandarización):** los procedimientos para alcanzar los objetivos de las tres primeras eses deben dotarse del método adecuado para que puedan implantarse con la máxima facilidad posible. Cuando los métodos se consideren suficientemente correctos, será importante su estandarización, para asegurar su correcta aplicación.
5. **Shitsuke (disciplina):** A fin de que las tres primeras eses se lleven a cabo, de acuerdo con los procedimientos estandarizados y se repitan éstos cada vez que corresponda de acuerdo con el método estándar y no solo cuando el tiempo y la motivación *lo permitan*, será conveniente completar el programa 5S con la disciplina necesaria.

Todas las acciones aseguran un área de trabajo organizada (sin elementos innecesarios), ordenada (para encontrar lo que se necesita con rapidez), limpia (para trabajar eficientemente y observar mejor el estado de los medios de producción), todo ello con un método estandarizado que nos habremos asegurado de que se aplique. Las preparaciones rápidas SMED que veremos en el siguiente apartado serán las primeras beneficiadas de ello, ya que para actuar con rapidez hay que tener las cosas en su lugar justo, muy a mano y en las debidas condiciones.



Figura 5.6. Área de trabajo sin organización, ni orden, ni limpieza.



Figura 5.7. Área de trabajo desorganizada con tarjetas rojas y parcialmente organizada.



Figura 5.8. Área de trabajo organizada y ordenada.



Figura 5.9. Área de trabajo organizada, ordenada y limpia.

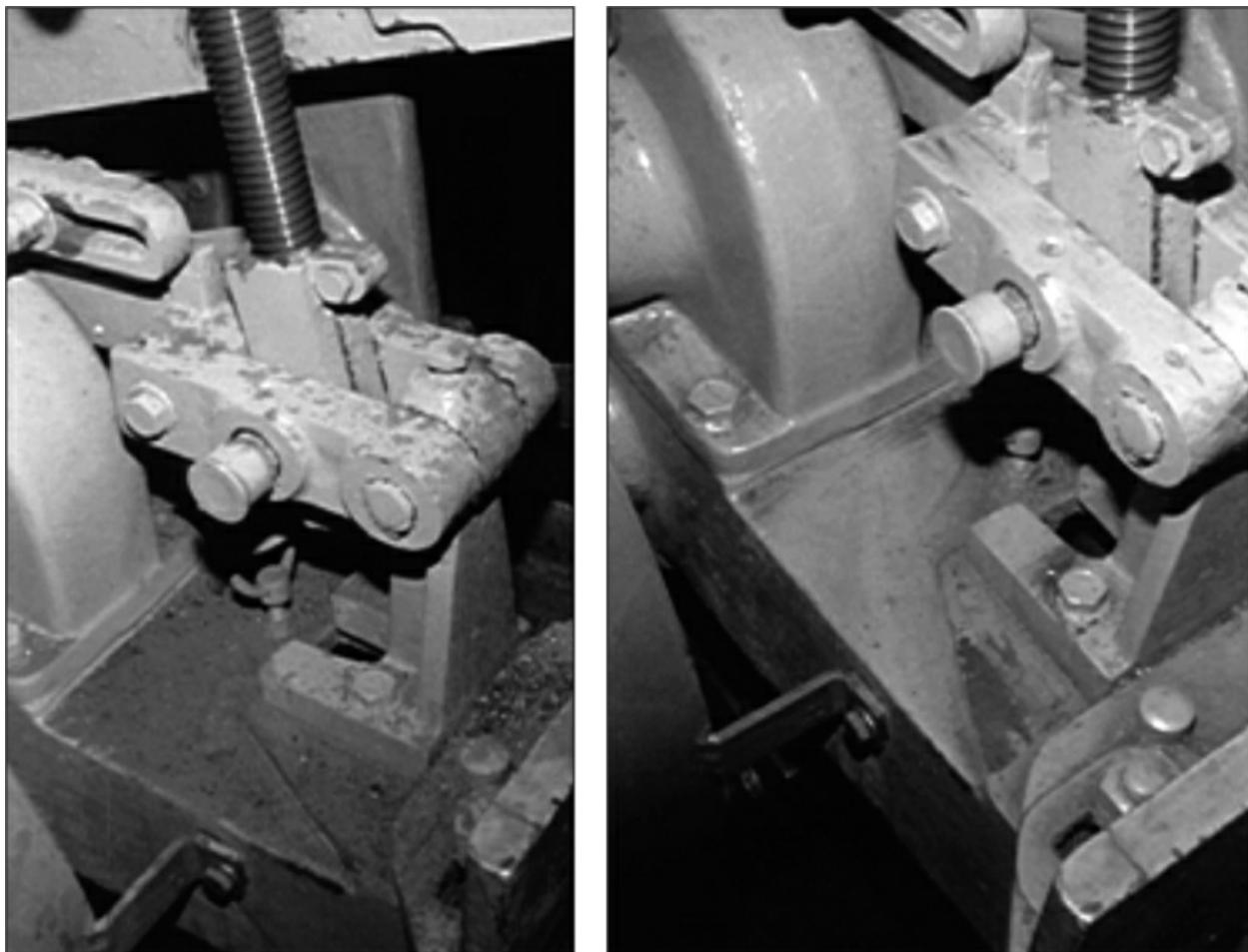


Figura 5.10: Parte de un máquina, antes y después de la etapa de limpieza.

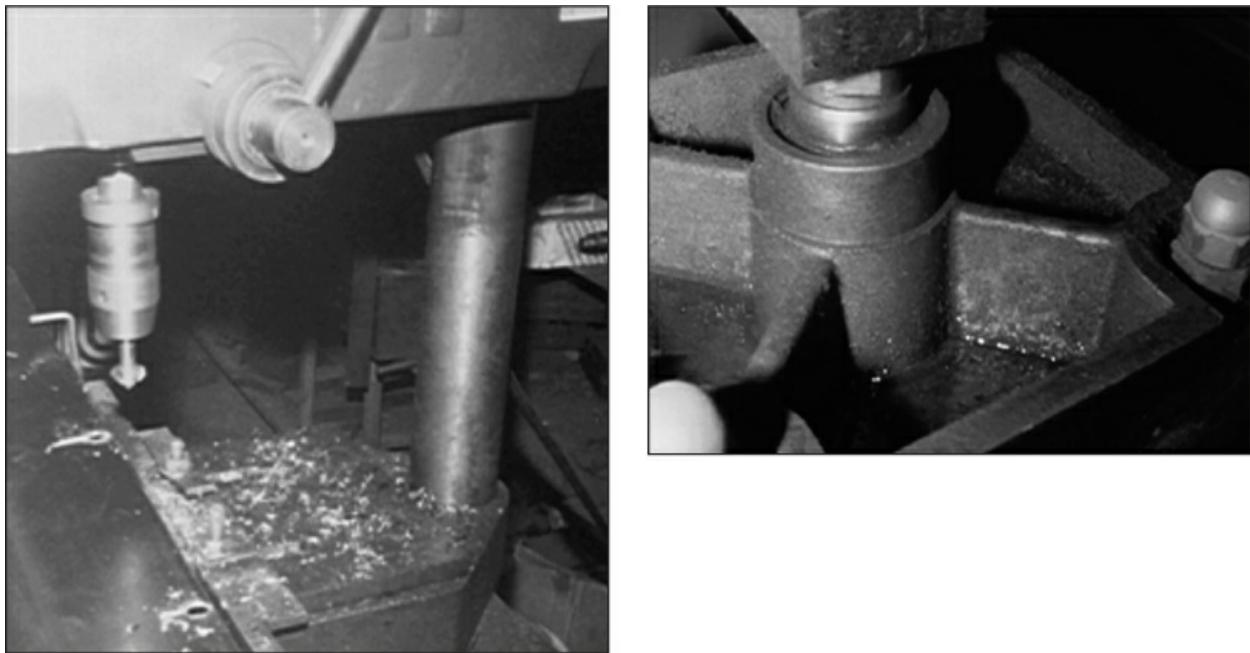


Figura 5.11. Acumulación de viruta en la mecanizado y acumulación de aceite en la cabeza de un cilindro hidráulico.

5.3.2. La preparación rápida de máquinas: un requisito previo para su implantación de un sistema *lean*

La operativa en *lotes pequeños* exige reducir al máximo el *tiempo que debe estar detenido un proceso para poder preparar* máquinas y equipos para cada nuevo lote.

Las técnicas SMED permiten realizar cambios de preparación muy rápidos. Shigeo Shingo, quien dirigió el desarrollo de estas técnicas, obtuvo —con un enfoque totalmente nuevo—, en solo tres minutos, el cambio de matriz de prensas de carrocerías de automóvil, que hasta entonces había requerido cuatro horas. Éste fue el origen de las técnicas SMED (*Single Minute Exchange of Die*), que significa cambio de matriz en un tiempo, en minutos, de un solo dígito, es decir, menos de diez.

Por otra parte, el programa 5S, expuesto anteriormente, es un gran aliado de la preparación rápida y debe formar parte de la misma. En efecto, no se comprenderían las actividades especialmente concebidas para ello, pero que, al aplicarlas, precisáramos herramientas o útiles que costara tiempo encontrarlos. Sin una buena organización, acompañada de orden y limpieza, así como estandarización de las mismas y disciplina para llevarlo a cabo, se perderán, de

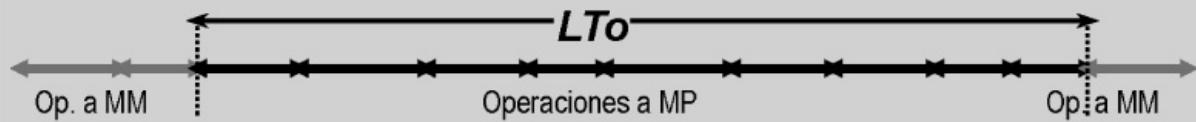
entrada, tiempos y recursos valiosos que contrarrestarán la rapidez pretendida en la preparación.

Según el propio Shingo, SMED es un nuevo enfoque o filosofía que supone un cambio generalizado de actitud. Las etapas esenciales para su implantación son:

1. Separar las operaciones que deben hacerse a máquina o proceso parado (MP) de las que pueden hacerse con la máquina o proceso en marcha (MM).
2. Transformar el mayor número posible de operaciones tipo MP a MM, ya que, así, se reduciría el consumo de tiempo con la máquina o proceso parados.
3. Simplificar las operaciones de tipo MP (eliminando, además, todas aquellas que sea posible) y reducir sus tiempos; asimismo, será muy conveniente suprimir ajustes manuales y operaciones de fijación sustituyéndolas por dispositivos de encajado rápido o automático.
4. Las operaciones de tipo MP no eliminadas o no transformadas a tipo MM es posible que no precisen efectuarse de forma secuencial; acaso, algunas o incluso todas, puedan efectuarse de forma simultánea, obteniendo de esta manera una nueva ganancia de tiempo.

La figura 5.12 muestra el efecto de las etapas que componen el cambio rápido y el resultado final de la combinación de todas ellas —que es lo que da espectacularidad a la reducción de tiempo alcanzada—. Podemos calibrarlo comparando el *lead time* inicial LT_0 y el resultante final, LT_3 , mucho menor que el anterior.

OPERACIONES CAMBIO INICIALES:



OPERACIONES CAMBIO TRAS CONVERSION MP EN MM:



OPERACIONES CAMBIO TRAS MEJORA OPERACIONES MP:



OPERACIONES CAMBIO TRAS SIMULTANEAR OPERACIONES: MP:

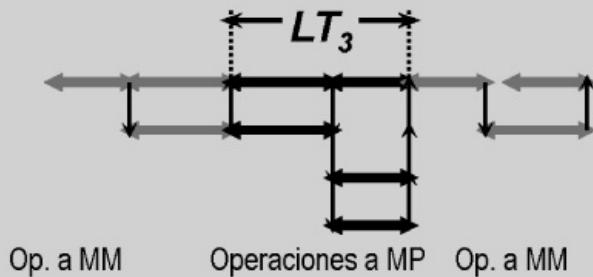


Figura 5.12. Etapas de la progresión en el cambio rápido.

El resultado obtenido con la aplicación de SMED a la preparación de prensas ha permitido promover su utilización a otros campos de la industria y, también, fuera de ella, para todo tipo de máquinas y equipamientos que lo precisen.

La aplicación de las técnicas de cambio rápido se han extendido en la actualidad por doquier, con importantes ventajas para los procesos de producción, tales como:

- ✓ La posibilidad de programar fabricaciones combinadas de pequeñas

cantidades de producto variado, sin incurrir en costes excesivos por paros en el proceso.

- ✓ Aumentar la tasa de utilización y, por tanto, el rendimiento de las máquinas, ya que se reducen drásticamente los tiempos de paro.
- ✓ Simplificar y automatizar las operaciones de cambios de preparación, al mismo tiempo que se lleva a cabo la reducción de las actividades que comportan lo que supone poder emplear personal menos cualificado.
- ✓ Posibilidad de ajustes en el programa de producción sin incurrir en graves perjuicios.

El cambio de operaciones de tipo MP a tipo MM, aspecto clave de las técnicas de preparación rápida, es el desarrollo de útiles o dispositivos intermedios donde montar los que sustituirán a los que aún se están utilizando en la máquina en marcha; por ejemplo, si el proceso utiliza una bancada sobre la que se halla un útil que está trabajando, puede disponerse de una segunda bancada para montar el utilaje que se empleará en la producción que aún se está preparando.

Otros elementos importantes son los que permiten reducir al mínimo los tiempos de las operaciones realizadas como MP. En este sentido, hemos comentado la importancia de sustituir el correcto reglaje de la posición del útil a montar por un *encaje automático* y sin errores, así como los laboriosos sistemas de atornillar o similares por otros de sujeción rápida y eficaz.

Los sistemas de preparación rápida se componen, a su vez, de la secuencia de cinco etapas del cuadro de la figura 5.13, en el que además se indica si se hace preferentemente a MM o a MP.

Con el fin de detallar la operativa del cambio de preparación, se puede añadir su desglose en estas cinco etapas para cada una de las operaciones. La figura 5.14 muestra dos de las operaciones de un cambio de preparación, en las filas de un cuadro, que pueden desglosarse en las cinco etapas en sendas columnas.

Como ya se ha comentado, las operaciones de posicionamiento y fijación por un lado y ajuste-reglaje por otro son las que pueden y deben tratar de simplificarse al máximo, especialmente para operaciones de tipo MP. La utilización de dispositivos estandarizados, bancadas de asiento con coordenadas

predeterminadas, así como montajes tipo casete y otros dispositivos similares permiten alcanzar estos objetivos. Es asimismo importante disponer de los elementos de trabajo precisos para poder actuar rápidamente y sin necesidad de que las personas involucradas efectúen largos recorridos. La estandarización de componentes es asimismo de gran importancia. En cuanto a la documentación, primero se elaborará para el método actual y, luego, para el método mejorado, con indicación de los tipos de operación (MM o MP) y sus tiempos.

Secuencia	Etapas del cambio de un elemento	Tipo operación
1	PREPARAR DEL NUEVO ELEMENTO	MM
2	CAMBIO DEL ELEMENTO	MP
3	POSICIONARLO Y FIJARLO	MP
4	AJUSTAR (REGLAJE)	MP
5	RETIRAR EL ELEMENTO ANTERIOR	MM

Figura 5.13. Tipos de operaciones básicas en el cambio de máquinas.

Nº O.	Registro de Operaciones	Preparación elemento		Cambio elemento		Posicionar y fijar		Ajuste elemento		Retirar elemento ant.	
		Tipo	Tiempo	Tipo	Tiempo	Tipo	Tiempo	Tipo	Tiempo	Tipo	Tiempo
1	Preparación de herramientas y dispositivos en el banco	MM	60"								
2	Colocación del útil en la bancada auxiliar para desmontar	MM	20"								

Figura 5.14. Documento para el registro de las actividades de cambio rápido, tipo y tiempo.

5.4. Comparación de los modelos *masa-batch and queue* y *lean*

La gestión basada en la eliminación de los desperdicios ha supuesto para los sistemas productivos una nueva forma de diseñar e implantar procesos que ha afectado a muchos aspectos. La figura 5.15 presenta un cuadro comparativo de los aspectos de la gestión de un sistema productivo cuya orientación es distinta para ambas filosofías.

Como puede observarse, los sistemas de producción *lean* basan su desarrollo en la ejecución de lotes pequeños de producto, implantaciones en flujo en las que se transfieren los materiales de una operación a la siguiente, unidad a unidad, tiempos de preparación bajos o nulos, eliminación de los tiempos de espera, tanto de personas como de materiales, eliminación de los stocks de todo tipo, eliminación de fallos de calidad por gestión preventiva sobre el proceso y, en la misma línea, eliminación de los problemas de los equipos productivos debido, asimismo, a una gestión preventiva.

ENFOQUE TRADICIONAL – EN MASA

- **Implantación con enfoque *Push***
- **Grandes lotes de producción (en masa)**
- Tendencia a implantación funcional (talleres)
- Operativa por lotes entre operaciones
- Tiempos de preparación largos
- Tiempos de entrega largos
- Operativa con stocks en proceso (WIP)
- Trabajadores especialistas
- Calidad con enfoque por detección a posteriori
- Mantenimiento con enfoque correctivo

→ PRODUCTIVIDAD POR VOLUMEN (EFECTO ESCALA)

ENFOQUE «*LEAN*» (ajustada) - J.I.T.

- **Implantación con enfoque *Pull***
- Lotes de producción reducidos
- **Implantación en flujo lineal**
- **Operativa en flujo unidad a unidad**
- **Tiempos de preparación cortos**
- Tiempos de entrega cortos
- **Operativa sin stocks en proceso (WIP)**
- Trabajadores polivalentes
- **Calidad con enfoque preventivo**
- **Mantenimiento con enfoque preventivo**

→ PRODUCTIVIDAD POR AHORRO DE RECURSOS

Figura 5.15. Comparación entre los enfoques de gestión convencional y *lean* o ajustada.

Todos estos aspectos de la gestión, que en la figura se destacan con caracteres negros y letra cursiva, colaboran a mejorar la eficiencia y la competitividad, en contraste con la filosofía de producción en masa, para la que solo encontramos un aspecto que colabora realmente: la producción a gran escala. No es de extrañar que los resultados con la gestión basada en la producción *lean* sean muy superiores, aunque sea mucho más compleja su implementación.

Así, con la gestión convencional, se obtienen grandes lotes de producto que suelen tener un fuerte nivel de estandarización, lo que supone que las necesidades de los clientes deben *uniformizarse*, ajustándose a una gama o catálogo concretos. Todo lo contrario implica la gestión *lean*, que produce solo en los tipos y cantidades de producto realmente demandadas, dentro de una amplia gama disponible. La calidad, tal y como la entiende el cliente, está, además, asegurada en el propio proceso.

Por otra parte, la tendencia de los enfoques convencionales a operar en lotes, normalmente grandes, tanto los de producción como los de transferencia entre las operaciones (por ejemplo, con grandes contenedores), da paso en los sistemas *lean* a una operativa en flujo compacto, constante y regular, moviendo normalmente pocas o incluso una sola unidad de producto. El principal resultado de ello es una espectacular reducción de la cantidad de producto en curso (stock) y del tiempo de respuesta, además de que, al ajustar la producción a la demanda, también se minimiza el stock de producto acabado.

Ello permite, además, destacar la lentitud de respuesta de la gestión convencional que basa su elevada productividad en moverlo todo en grandes volúmenes, en detrimento del tiempo.

También queda claro que los sistemas convencionales operan con stock de todo tipo (materiales, producto en proceso o WIP —*work in process*— y producto acabado), mientras que los sistemas *lean* operan con muy poco o ningún stock.

Otra característica opuesta de los sistemas de gestión *lean* respecto a los de corte convencional es el tipo de trabajadores o empleados. En efecto, la gestión convencional utiliza personal especializado y experto en determinado tipo de operaciones, en aras de la productividad, mientras que el enfoque *lean* emplea personal polivalente, en aras de la flexibilidad (de lo que nos

ocuparemos).

Finalmente, los sistemas *lean* no pueden permitirse fallos u errores de ningún tipo, ya que el flujo regular y constante de producción se vería seriamente alterado (además de que generarían desperdicios). Por ello, la calidad del producto debe estar asegurada en cada operación, antes de ser enviado a la siguiente, de la misma forma que el buen funcionamiento de las máquinas y equipos de producción debe estar asimismo asegurado. Ello implica que calidad y mantenimiento de equipamientos deben estar sometidos a una gestión preventiva y no arbitrar soluciones a posteriori, como resulta habitual en la gestión convencional.

Estas diferencias suponen un cambio radical de la orientación de la ingeniería de procesos y de la de planta.

Terminaremos esta comparación entre modelos de gestión, incidiendo en las consecuencias del tipo de distribución en planta adoptado que, como se sabe, parte de una clasificación en dos tipos básicos: la disposición *orientada al proceso* (funcional-*batch and queue*) y la *orientada al producto* (en flujo o cadena). De acuerdo con lo que ya se expuso, la distribución orientada al producto es mucho más eficiente porque puede implantarse con muchas menos actividades que no añaden valor al producto (es decir, *desperdicios*), además de que los tiempos y los volúmenes de trabajo en curso son asimismo menores.

Centrando la problemática en los desperdicios, en la orientación al proceso pueden darse los desperdicios que siguen:

- ✓ Flujo de materiales largo y complejo (desperdicio en transporte).
- ✓ Complejidad en el método de trabajo por falta de normalización en productos y procesos (desperdicio por proceso inadecuado).
- ✓ Manipulación múltiple de materiales (desperdicio en movimientos).
- ✓ Tiempos de espera en cada operación para que se termine todo el lote de productos (desperdicio por tiempos de espera).
- ✓ Acumulación de existencias en proceso por operar en *batch and queue*, a pie de máquina (desperdicio en stocks y esperas).
- ✓ Dificultad en identificar causas de defectos y probabilidad de que se extiendan a todo un lote de producto antes de detectarlo (desperdicio por calidad).

Con distribución en planta funcional, se produce un aislamiento por distancia y por la dificultad de coordinación entre puestos de trabajo, lo que lleva a centrar la operativa de cada puesto de trabajo en lograr la máxima eficiencia propia, es decir, operación a operación. Además, el aislamiento del puesto de trabajo lleva a cada puesto a trabajar por lotes de producto, de forma que hasta que no se termine un lote, no se lleva el producto hasta el puesto siguiente, lo que implica aumentos de tiempo y stock de producto en proceso.

5.4.1. Comparación de los aspectos de ingeniería que componen el diseño y operativa de los procesos

La figura 5.16 (en la página siguiente) muestra los aspectos característicos de los procesos productivos, de interés para el diseño de los mismos y, por tanto, para la ingeniería de procesos. Como puede apreciarse, el cuadro de la citada figura destaca estas características tal como se dan para los dos grandes modelos (columnas izquierda y derecha), lo que permite establecer hasta qué punto cambian dichas características de un modelo a otro. La columna del centro indica la versión mejorada del modelo tradicional en *masa-batch en queue*, a partir de la gestión de las operaciones condicionantes y cuellos de botella, que ha sido expuesto anteriormente. Es por este motivo que algunas de las características son comunes para el modelo tradicional en masa y su modelo mejorado.

Enfoque gestión »	MASA – Batch & queue	Mejora MASA por op. condicionantes	Lean Manufacturing
Implantación y disposición de las operaciones	Funcional, con <u>separación</u> entre <u>operaciones</u> . Stock <u>ocupa</u> lugar y <u>entorpece</u> operativa (más NVA)	Normalmente <u>funcional</u> pero <u>separación menor</u> , por no haber casi stock. Posibilidad disposición en flujo	Flujo y <u>distancia casi nula</u> entre puestos en células flexibles (que <u>facilita</u> el <u>flujo</u> de <u>pocas uds.</u>)
Operaciones y tiempos. Capacidad de producción	Diseñadas para <u>especialistas</u> , <u>máxima automatización</u> y <u>máquinas de gran capacidad</u> , buscando elevadas productividades: <u>más tiempos de máquina y menos de trabajo</u> (excepto si operario "vigila" la máquina), y con implantación funcional. <u>Producción maximizada</u> según capacidad. En TOC, <u>equilibrada</u>		<u>Máquinas pequeñas</u> y <u>flexibles</u> y <u>automatización</u> en operación y descarga. <u>Más tiempo de trabajo</u> . <u>Producción planificada</u> a demanda (<u>takt time</u>)
Puestos de trabajo	Especialistas y expertos, para alcanzar la <u>máxima</u> productividad en cada puesto de trabajo	Normalmente <u>especialistas y expertos</u> . Máxima productividad en CB	Personal <u>polivalente</u> , <u>multitarea</u> y <u>reasignable</u> . Cantidad según <u>Takt time</u> . Utilización del <u>Nagare</u>
Calidad y su control	Mucho control, al no estar la calidad asegurada, que mermaría productividad. Stock protege de paros	Mucho control <u>antes</u> de CB que han de tener la calidad asegurada. Resto como en Masa	Control <u>mínimo</u> o <u>inexistente</u> , por aplicación de sistemas preventivos para asegurar la calidad
Lote de producción	Muy <u>elevados</u> , para lograr economías de escala y compensar <u>preparaciones</u> (largas y complejas por máquinas grandes). <u>Lote grande</u> facilita planificación	Deberían ser <u>algo menores</u> : economías de escala compensadas con la <u>mayor eficiencia</u> en CB y las <u>preparaciones</u> importan menos en los no CB	Muy <u>bajos</u> , pues <u>no</u> se buscan <u>economías de escala</u> y las <u>preparaciones</u> son <u>muy rápidas</u> y las <u>máquinas pequeñas</u> y <u>flexibles</u>
Paros programados	Pocos por necesidad de productividad y por no haber acciones preventivas (el stock lo permite)	Igual que en Masa, pero reducidos al <u>mínimo en los CB</u> para no parar (con algo de preventivos)	Pueden ser <u>mayores</u> , por haber acciones de tipo preventivo. Algunas de éstas no generan paros
Tiempos NVA	Elevados por operativa <u>funcional</u> , falta de organización, etc. Además, operativa con <u>grandes</u> lotes y stock genera distancias y actividades NVA	Elevados, en la medida que se mantengan las condiciones convencionales (funcional, lotes, etc.) Pero, en CB, deben <u>reducirse</u> al máximo.	Muy <u>bajos</u> , para cumplir con el objetivo de <u>eliminar desplazamientos</u> . Para ello: flujo, proximidad puestos, lotes pequeños, calidad asegurada, etc.
Paros no programados	Elevados, como lo son el número <u>de incidencias de todo tipo</u> (fallas en producto, paros de máquina, falta de aprovisionamientos, etc.)	En principio y para los no CB, no difiere mucho de la gestión convencional, pero en los CB no <u>pueden permitirse paros</u> y se hará gestión preventiva (supondría una crisis)	Reducidos a un <u>mínimo o nulos</u> , por la <u>gestión preventiva</u> . De no ser así, el <u>flujo</u> se <u>interrumpiría</u> (supondría una crisis)
Transportes	Largos con implantación <u>funcional</u> : Menos transporte con <u>lotes de transferencia grandes</u> , pero con <u>medios de transporte grandes y costosos</u> . En TOC: <u>evitarlos al máximo en CB</u> , con lotes aún más grandes.		Muy <u>pequeños</u> por <u>disposición</u> en <u>flujo</u> : puede operarse con <u>lotes pequeños</u>
Tiempos preparación	Elevados por complejidad de los equipos y evitar cambios complejos. Compensados por tamaño lote	Idem <u>producción en masa</u> , pero CB pueden requerir soluciones para reducirlos (menos paro)	Soluciones especiales para <u>minimizarlos</u> al operar con lotes pequeños. Preparaciones 1º toque
Lote de transferencia	Muy elevados, para colaborar en las <u>economías de escala</u> , ahorrar transportes, fomentar la especialización y aumentar la productividad	Deben ser <u>algo menores</u> , sobre todo por la menor necesidad de productividad en los no CB (que pueden llegar a parar). En CB, <u>más grandes</u>	Muy <u>bajos</u> : en el <u>óptimo</u> , una unidad. Flujo, proximidad de puestos y otros aspectos de la gestión lean, lo permiten
Duración de la jornada	Ajustar en <u>cada puesto según necesidades</u> (dada la inflexibilidad de la implantación y del personal). No parar bajo ningún concepto (se genera stock)	Ajustar en <u>cada puesto según necesidades</u> . Reducir paros programados en CB. Parar si conviene, en no CB para igualar flujo con CB	Ajustar a las <u>necesidades</u> del proceso, pero igual en todos los puestos, ajustando el flujo al <u>Takt time</u> . Ajuste puede conllevar paros en puestos
Tiempos reprocessado	Elevados, por estar la calidad basada en <u>control</u>	Algo <u>menos elevados</u> , al menos en los CB	Muy <u>bajos</u> , al estar la calidad asegurada
Compensación tiempos perdidos	Presión en la <u>productividad</u> , especialización y automatización, y stock para no afectar a otros	En los no CB, no importan mientras tengan más capacidad que los CB. En CB, <u>mejorar eficiencia</u>	No debe haber <u>tiempos perdidos</u> (desplazamiento). Así, atacar la causa raíz de los mismos.
Ciclo y compensación de desequilibrios	Ciclo desigual. Puestos lentos harán horas extras o subcontratas y los rápidos tendrán stock	Cada uno a su ritmo (ciclo) pero flujo igualado. Los muy lentos (CB) mejorar capacidad	Ciclos iguales (e iguales a <u>takt time</u>). Igualar las <u>capacidades</u> distribuyendo la carga (flexibles)

Figura 5.16. Características comparadas del diseño de procesos, para los modelos de implantación de los mismos.

5.4.2. Evolución desde la operativa *batch and queue* hasta el *lean management*

La evolución de la operativa tradicional *batch and queue* hacia la que adopta el modelo *lean* implica una serie de acciones que se derivan, en buena medida, de cuanto ha sido ya expuesto, pero que resumimos y completamos a continuación:

- Implantación del proceso en flujo, de forma que se cumplan todas las exigencias de los sistemas productivos, acordes con la gestión *lean*:
 - Establecer el flujo de actividades del proceso, acercándolas al máximo y conectándolas lo mejor posible.
 - Mover el producto en el flujo, en pequeños lotes (mejor una sola unidad).
 - Establecer el stock a mantener entre cada dos actividades, en el

- mínimo posible para compensar interrupciones en el flujo.
- Establecer las condiciones que aseguren la continuidad y regularidad de dicho flujo, resolviendo los problemas que vayan surgiendo, mediante equipos de mejora continua.
 - Implantar el modo *pull* en el flujo de materiales (tirado desde la demanda o desde la programación establecida a partir de ella).
 - Implantar la flexibilidad, ajustando el ritmo de producción al *takt time* correspondiente y el diseño del flujo y el número de puestos de trabajo.
 - Distribuir las cargas de trabajo entre los puestos de trabajo obtenidos en el paso anterior, equilibrándolas, de forma que se ajusten al *takt time*.
 - Programar la secuencia de órdenes de producción que enviar al proceso, en lotes de tamaño reducido y con el máximo nivelado (mediante el sistema conocido como *heijunka*). La programación se enviará a la última operación enlazada vía *pull* (*pacemaker*).

La implantación de la gestión *lean* implica mejorar permanentemente el flujo de actividades, haciéndolo cada vez más estable y sin interrupciones y eliminando desperdicios. Así pues, se deben impulsar las acciones de mejora continua que faciliten la obtención de un flujo regular y constante. Se tratará pues de:

- Determinar las causas de las interrupciones en el flujo y buscar contramedidas (con *workshops* de mejora y los cinco *por qué*), que habitualmente serán:
 - Averías y paros en las máquinas y equipamientos de producción.
 - Problemas de calidad en el producto que llega de la actividad anterior.
 - Tiempos de preparación largos y excesivamente frecuentes.
 - Falta de materiales u otros recursos necesarios.
 - Cargas de los puestos de trabajo desequilibradas, que exigen esperar.
 - Etc.

- Reducir el stock de seguridad entre actividades a medida que se resuelven las causas de interrupciones en el flujo
- A medida que el flujo entre puestos se haga de forma directa, sin interrupciones ni stock que las absorba, es posible que pueda sustituirse el enlace *pull* por un enlace directo. Si puede mantenerse el flujo, pero aún se precisa algo de stock, éste podrá adoptar la forma de FIFO (stock intermedio que mantiene el orden de las unidades de producto y, por tanto, su flujo, como en el caso de una cinta transportadora).
- Extender la operativa *Lean* a la gestión de los aprovisionamientos.
- En la medida en que se vaya reduciendo el stock, el flujo ganará velocidad y se reducirá también el lead time. La productividad aumentará y el coste se reducirá por la eliminación de desperdicios e interrupciones.
- El stock en proceso necesario para mantener el flujo de forma regular podrá ser de dos tipos: *supermercado* o *FIFO* (este último garantiza el mantenimiento del flujo, según hemos visto).

5.5. Caso práctico de evolución desde una operativa tradicional hasta el *lean manufacturing*

Vamos a abordar la transformación completa de una planta de producción tradicional al *lean manufacturing*, de acuerdo con la evolución que acabamos de exponer, que nos llevará, asimismo, a profundizar en el modelo de gestión *lean* y describir nuevas técnicas. Además, lo haremos tratando de cuantificar los beneficios que se obtienen.

Iniciaremos aquí la transformación, que continuará paulatinamente en los capítulos que siguen, a medida que se aborden las técnicas de ingeniería de procesos y de planta correspondientes. Así pues, en este capítulo, solo presentaremos la situación de inicio (*masa-batch and queue*) y su transformación a una operativa en *flujo* o *cadena* reduciendo, en lo posible, los desperdicios existentes.

Por otra parte, realizaremos la transformación sobre un caso práctico, acompañado de ilustraciones de la planta y su evolución, hasta completar la

transformación. El producto será una silla de cuero con estructura tubular cromada (figura 5.17).



Figura 5.17. Producto: silla de cuero.

El proceso consta de operaciones de fabricación, básicamente cortar y doblar y soldar la estructura tubular, para luego llevarla a cromar a una nave de baños de cromado externa y, finalmente, una vez de nuevo en la planta, realizar el ensamblaje en cadena y el control de calidad y reprocesado. La figura 5.18 (en la página siguiente) muestra un cuadro con los datos del proceso inicial completo, en modo *batch and queue*, incluidos los transportes.

Cada actividad viene acompañada, en primer lugar, de la forma de realizarla: U, procesado unidad a unidad, y L, para procesado del lote completo. A continuación, el tiempo de proceso de cada una de ellas (referido a la unidad o al lote según sea de tipo U o L). A la derecha se indica el número de puestos de trabajo, que centramos en los que operan en el proceso, por lo que los demás solo tienen una indicación de su tipo de actividad. Las dos últimas columnas se refieren al tamaño de lote que envían a la siguiente actividad y al tiempo de ciclo por unidad, obtenido dividiendo el tiempo de proceso por el número de puestos de trabajo (en el caso de las actividades tipo L, se ha dividido por el número de unidades del lote, para tener un equivalente de cuánto *toca* por unidad). Se da la circunstancia de que una de

ellas, el cromado de la estructura (que no tienen asignados puestos de trabajo al efectuarse en una planta externa), es la actividad condicionante con 6 minutos de tiempo de ciclo.

Debido a este tiempo, la productividad de la planta será de $60/6 = 10$ sillas terminadas por hora.

Otras magnitudes de la eficiencia del sistema (calculadas con un *software* específico) son:

Ref. actividad	Descripción	U (unidad) L (lote)	Tiempo de proceso	Puestos de trabajo (Mover = Transporte)	Tiempos en minutos		Lote producción: 500
					Lote transferencia	Tiempo ciclo equivalente	
1	Corte de tubos (juegos de tubos de una silla)	U	1	1	100	1,00	
2	Transporte a siguiente actividad	L	5	Transporte	100	0,05	
3	Doblado de tubos (juego de tubos de una silla)	U	3	2	100	1,50	
4	Transporte a siguiente actividad	L	5	Transporte	100	0,05	
5	Soldadura de la estructura tubular	U	9	3	100	3,00	
6	Transporte a muelle de carga	L	8	Transporte	100	0,08	
7	Cromado en planta externa (transportes y proceso)	L	600	Externa	100	6,00	
8	Transporte de muelle descarga a siguiente actividad	L	6	Transporte	100	0,06	
9	Ensamblaje de sillas de cuero	U	20	5	10	4,00	
10	Transporte a siguiente actividad	L	3	Transporte	10	0,30	
11	Control calidad	U	3	1	1	3,00	
12	Reprocesado (promedio por unidad según defectos)	U	1,5	1	10	1,50	
13	Transporte a departamento de expediciones	L	10	Transporte	100	0,10	
<i>Final proceso</i>				Total U >>	37,5	Total:	Lote máximo:
				Total L >>	637	13	Cuello botella: 6

Figura 5.18. Datos del proceso de fabricación y montaje de sillas de cuero.

- Lead time total del proceso para producción de un lote de 500 unidades: 4.216 minutos [70,3 horas].
- Stock total en proceso, que varía con el tiempo, por el efecto de los cuellos de botella: valores en distintos momentos:
 - Minuto 560 (unidades): 554
 - Minuto 1.000 (unidades): 425
 - Minuto 1.500 (unidades): 454
 - Minuto 2000 (unidades): 372
 - Minuto 4.216 (unidades) 0

La figura 5.19 muestra una ilustración de la planta y sus procesos, en esta fase de inicio, antes de cualquier transformación.

La figura 5.20 presenta los datos para la primera transformación que se hará en la planta: pasar de la implantación funcional *batch and queue* a la operativa en flujo en todos los procesos (el ensamblaje, que ya se efectuaba así, se mantendrá igual). Esta evolución ha obligado a resolver las ineficiencias que había en el sistema, que daban lugar a problemas que impedían el flujo regular y constante. Por todo ello, puede observarse que ha habido una reducción considerable de la cantidad de actividades, debido a:

- Disponiendo las operaciones en flujo se eliminan muchos lotes y transportes.
 - Se han reunido operaciones de manera que se aproxime un balanceado alrededor de cuatro minutos (el corte se ha reunido con el doblado en el primer puesto).
 - Al eliminarse los problemas que impedían un flujo regular y constante, la calidad se ha asegurado, con lo que desaparece el control de calidad y el reprocesado.

Así pues, la actividad condicionante tiene ahora un tiempo de ciclo de 4,5 minutos y la productividad ha ascendido a $60 \text{ sillas/hora} \div 4,5 \text{ minutos} = 13 \text{ sillas/hora}$.

El resto de las magnitudes relacionadas con la eficiencia también han mejorado mucho y de nuevo presentamos los resultados —para un lote de producción de 50 sillas— empleando el mismo software que antes. Hacemos esta presentación comparando estos datos con los obtenidos para la situación inicial:

- Lead time total del proceso para el lote de producción:
454 minutos [7,6 horas] Inicio: 4.216 Mejora: -89,2 %
 - Stock total en proceso:
 - Máximo: 50 unidades Inicio: 554 Mejora: -91,0 %
 - Promedio: 24 unidades Inicio: 361 Mejora: -93,2 %

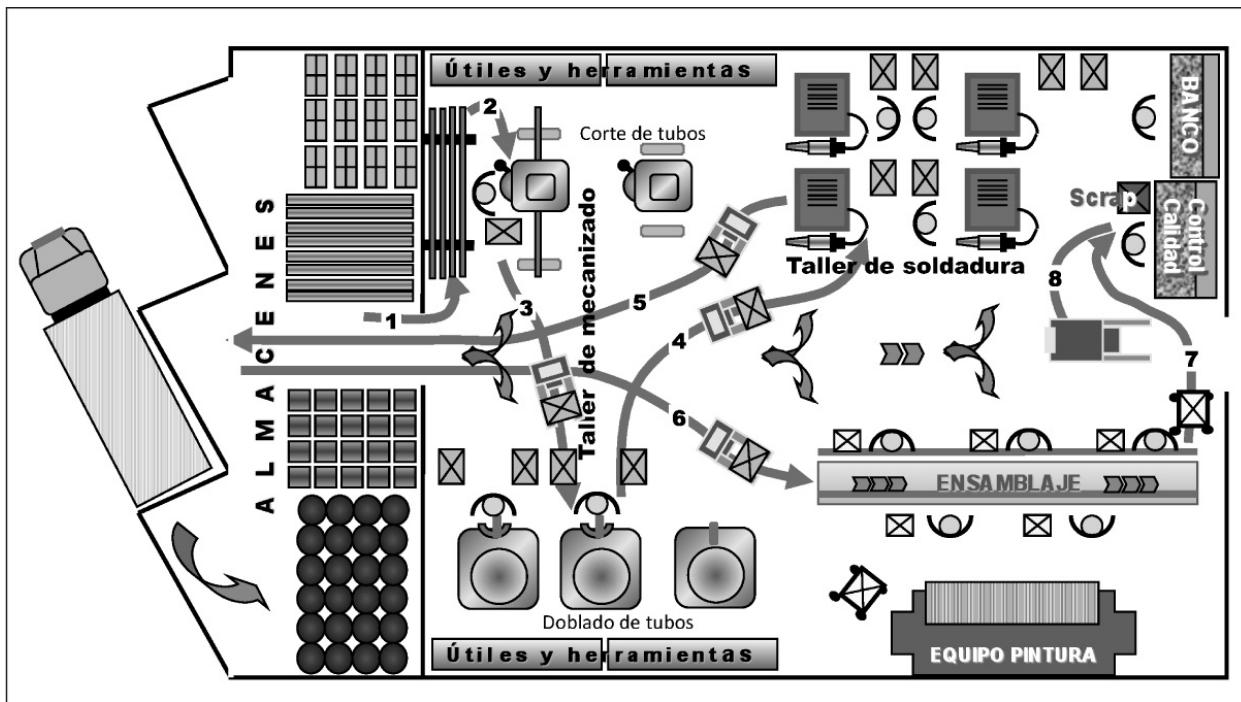


Figura 5.19. Planta de producción inicial *batch and queue*.

Ref. actividad	Descripción	Tiempos en <i>minutos</i>		Lote producción: 50			
		U (unidad)	L (lote)	Tiempo de proceso	Puestos de trabajo (Mover = Transporte)	Lote transferencia	Tiempo ciclo equivalente
1	Corte y doblado de tubos (juegos de tubos de una silla)	U	L	4	1	1	4,00
2	Soldadura de la estructura tubular	U	L	9	2	1	4,50
3	Transporte a muelle de carga	L	L	3	Transporte	25	0,12
4	Cromado en planta externa (transportes y proceso)	L	L	100	Externa	25	4,00
5	Transporte de muelle descarga a siguiente actividad	L	L	2	Transporte	25	0,08
6	Ensamblaje de sillas de cuero	U	L	20	5	1	4,00
7	Transporte a departamento de expediciones	L	L	3	Transporte	25	0,12
Final proceso		Total U >> 33		Total: 8		Lote máximo: 25	Cuello botella: 4,5
		Total L >> 108		[+ transportes]			

Figura 5.20. Datos del proceso de fabricación y montaje de sillas tras la implantación en flujo.

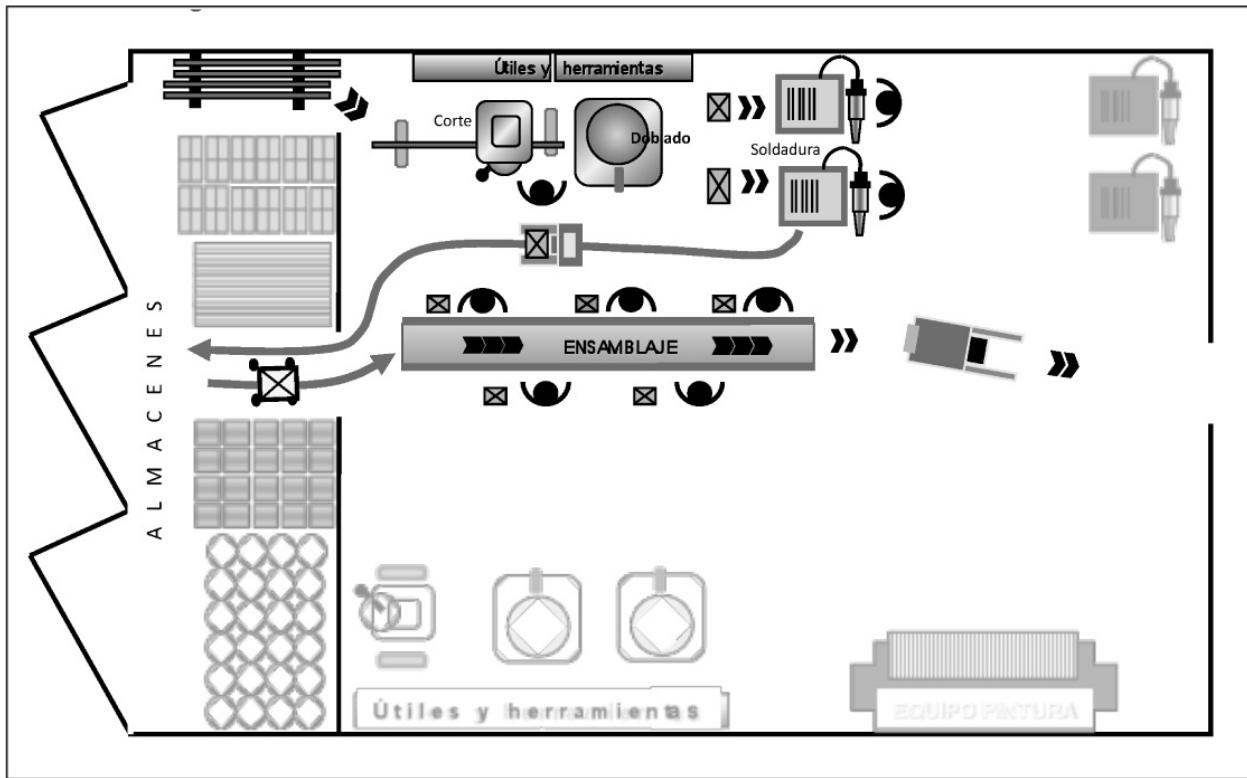


Figura 5.21. Planta de producción tras la implantación en flujo y eliminación del control de calidad y reprocesado.

Finalmente, la figura 5.21 presenta la ilustración que representa la planta tras la implantación en flujo en dos procesos —fabricación de la estructura tubular y ensamblaje— y resolución de problemas inherentes al proceso, que podían impedir un flujo regular y constante, como sería el caso de la mala calidad, motivo por el que ya no hay reprocesados ni, por tanto, necesidad de control de calidad alguno. En esta ilustración aparecen en tonos pálidos y arrinconados en la planta los elementos que habían en ella que no han de formar parte de los procesos de la fabricación y ensamblaje de sillas (máquinas, equipo de pintura, equipo de soldadura y buena parte del almacén central, que también tendrá que desaparecer).

1. Este libro no pretende exponer exhaustivamente el modelo de gestión lean, sino tan solo los aspectos básicos de este enfoque tan avanzado, que interesen a la ingeniería de procesos y de planta. Para saber más sobre lean, recomendamos la extensa bibliografía existente en la actualidad y, en particular, el libro *Lean Management*. La gestión competitiva por excelencia, del mismo autor que el presente.

6

MOVIMIENTO DE MATERIALES EN PLANTA

FLUJO *LEAN* MEDIANTE EL SISTEMA *KANBAN*

6.1. Flujo de materiales. Flujo en ingeniería de procesos *lean*

La ingeniería tradicional utiliza, como sabemos, implantaciones de tipo funcional, moviendo los materiales y productos por lotes en modo *push*. Sin embargo, la ingeniería *lean* mueve los materiales en flujo y no empujándolos, sino tirando de ellos en modo *pull*. Si bien el movimiento por lotes en modo *push* no presenta mayores dificultades que las ya referidas a propósito de las implantaciones *batch & queue*, interesa ocuparnos ahora de cómo establecer la operativa en flujo que, como sabemos, constituye la base de las implantaciones de procesos *lean*.

La figura 6.1 indica los aspectos básicos de la operativa *pull* entre dos procesos 1 y 2, por medio de un stock controlado y limitado, de acuerdo con la técnica de los *supermercados*, en referencia a la forma en que se desarrolla el suministro a los clientes y el correspondiente reabastecimiento, en los supermercados típicos de alimentación: los clientes retiran productos de las estanterías donde se hallan situados por tipos de producto y en cantidades

limitadas. Luego basta con llenar los huecos dejados por los clientes con los productos correspondientes, con lo que el suministro se habrá ajustado a la demanda.

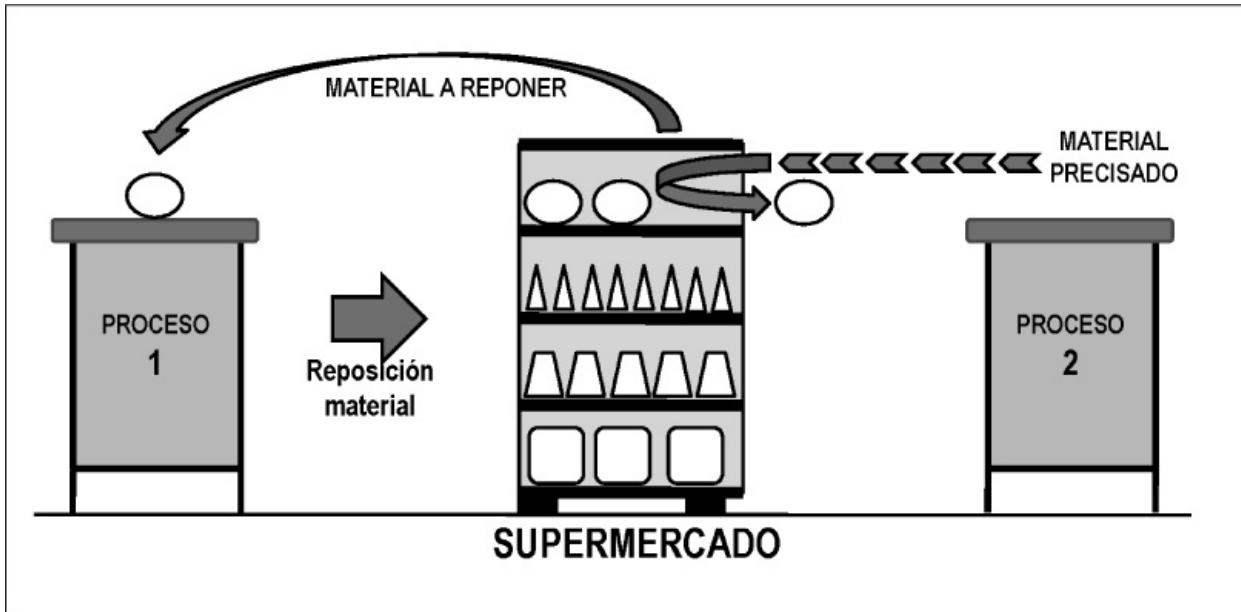


Figura 6.1. Establecimiento del flujo *pull* entre dos procesos mediante supermercados.

En efecto, en la figura, el proceso 2 retira una unidad de material de la estantería superior del supermercado para su procesado. El hueco que deja la citada unidad genera una orden (veremos cómo, más adelante, con el concepto de *kanban*) para que el proceso 1 elabore una nueva unidad como la extraída del supermercado y realice la reposición al mismo. El material retirado del supermercado por el proceso 2 y la orden de producción desde éste hasta el proceso 1 se llevan a cabo hacia atrás, lo que implica el modo de operar *pull*. La entrega del proceso 1 al supermercado se realiza, por el contrario, en modo *push*.

Aunque de la explicación dada y de la propia figura 6.1 parece deducirse que el supermercado generará órdenes para su rellenado cada vez que se retire una unidad de producto del mismo, en la práctica se opera con contenedores o cajas, que constituyen la unidad a pedir cuando se agotan.

Como alternativa al flujo *pull* mediante supermercados, la figura 6.2 presenta otra variante de flujo entre procesos, que sustituye el supermercado por el denominado FIFO (*First In First Out*).

En este caso, el flujo de la producción se produce con la secuencia de

producto ya establecida desde el proceso 1, que se mantendrá en el proceso 2. Dado que la secuencia en la que serán procesados los productos ha podido ser preestablecida, no será necesario que el proceso 2 tire del 1, puesto que debe elegir la primera unidad que, enviada desde dicho proceso, se halla en la cola de productos del FIFO. Este procedimiento impide que el proceso 2 pueda elegir el producto más conveniente a procesar cada vez (como ocurría al seleccionarlo en el supermercado), pero, en cambio, permite una variedad muy elevada de producto, lo que en un supermercado implicaría una gran cantidad de stock, aunque solo hubiera una pequeña cantidad de cada variante de producto.

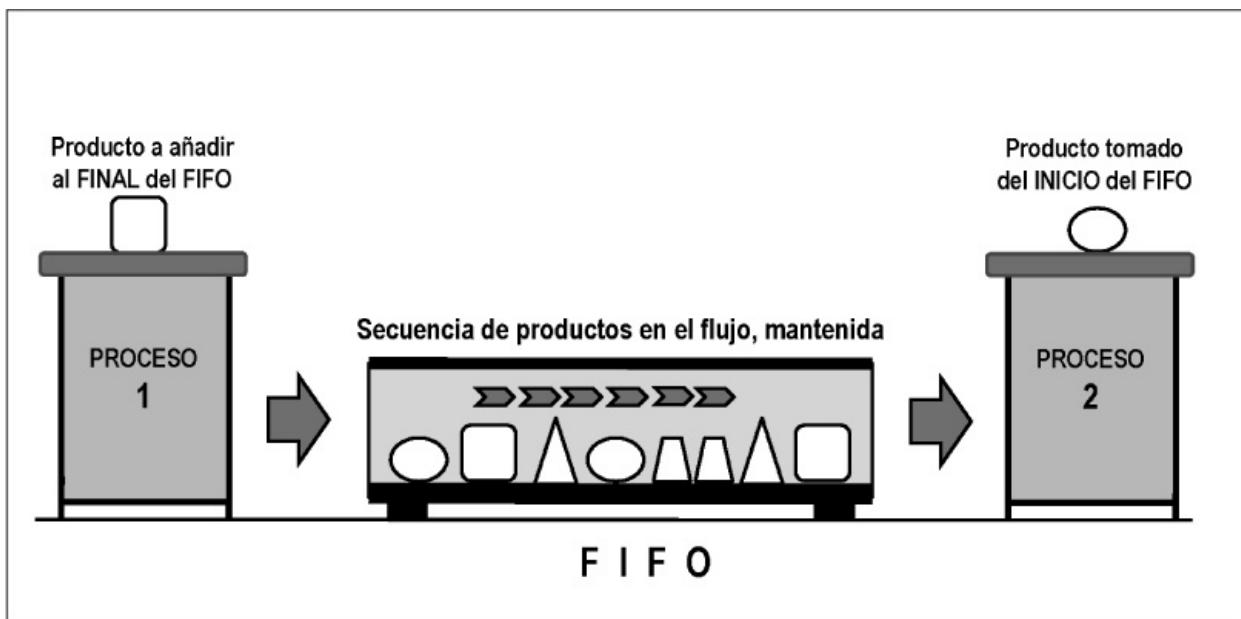


Figura 6.2. Establecimiento del flujo *pull* entre dos procesos mediante FIFO.

El FIFO, lo mismo que el supermercado, sigue suponiendo un stock intercalado entre dos procesos, pero permite que el flujo entre ambos procesos se mantenga de forma total. En efecto, el FIFO, como el supermercado, concede interrupciones del flujo por distintas razones, al contar con un pequeño stock entre procesos, interrupciones cuya magnitud no puede sobrepasar las posibilidades que le permite el stock.

6.2. El flujo *pull* o tirado, mediante el sistema

kanban

La implementación del modo *pull* de operar implica que el flujo de actividades de cada proceso produzca para su *cliente* (el proceso siguiente) la cantidad y clase de producto que precise y justo cuando lo precise.

Para ello, ya sabemos que hemos de solicitar los materiales necesarios, recorriendo la cadena de producción completa, desde el final hasta el principio, desde el cliente final hasta los proveedores de materias primas, en un claro proceso de arrastre (*pull*). Así pues, se requiere un sistema de *transmisión hacia atrás, de la información de las necesidades de cada proceso*. Esto puede lograrse con el sistema de tarjetas *kanban*.

El sistema *kanban* es un elemento primordial para implementar la operativa *pull*, cuyo objetivo fundamental es obtener lo que se precisa, en la cantidad y momento justos en que se necesitan (justo a tiempo); además en un sistema de producción presidido por la programación de series cortas de producción con una variedad más o menos grande de modalidades de producto, ello tiene que hacerse de forma ágil, rápida, frecuente y fiable; ello puede, en efecto, lograrse con el sistema de *tarjeta* (que es lo que significa *kanban* en la cultura japonesa).

En definitiva el *kanban* es un sistema de transmisión de órdenes de producción y órdenes de recogida de materiales y productos de los proveedores y líneas de producción, en la clase, cantidad y momento que se precisan.

El *kanban*, como la filosofía JIT en que se halla inspirado, es un sistema desarrollado por Toyota, como una necesidad inexcusable de extender a toda la cadena productiva, más allá, incluso, de la propia empresa, la programación JIT de los productos finales que requiere la demanda.

La idea fundamental, extraordinariamente sencilla por otra parte, se basó en el proceso que se sigue en un supermercado. En efecto, Taiichi Ohno pudo cerciorarse de que en los supermercados americanos se utilizaba un sistema muy eficaz para reponer las mercancías que los clientes se llevaban: el cliente recoge una mercancía, que lleva una etiqueta u otro sistema identificador y, al pasar por caja, ésta reúne los identificadores de todos los productos vendidos, que, a su vez, sirven para solicitar una orden de reposición a los almacenes distribuidores, que reúnen los identificativos de las mercancías repuestas al supermercado; éstos, a su vez, los remiten a los correspondientes fabricantes en forma de pedido de suministro, en un proceso automático.

El *kanban* es en realidad una tarjeta u otro sistema que permite una operativa similar (actualmente en muchos casos se trata de sistemas electrónicos y órdenes procedentes de programas informáticos). Dicha tarjeta se utiliza para solicitar del proceso o suministro anterior una cantidad de piezas que deben ser repuestas por haber sido ya consumidas. Así de sencillo.

En las tarjetas figuran los datos que identifican el suministro solicitado (pieza, código, cantidad de lotes, tamaño del lote, centro que lo solicita, centro al que va destinado, etc.). Las tarjetas se adjuntan a contenedores o envases de los correspondientes materiales o productos, de forma que cada contenedor tendrá su tarjeta, y la cantidad que refleja la misma es la que debe contener el envase o contenedor. Existen dos clases de tarjeta:

1. *Tarjeta o kanban de producción*: se utiliza para solicitar al proceso anterior la producción de un lote de producto que ha sido ya consumido. El *kanban* de producción indica la cantidad que debe ordenarse que produzca el proceso anterior.
2. *Tarjeta o kanban de movimiento o de transporte*: se utiliza para solicitar la retirada de un lote, envase o contenedor de producto acabado en un supermercado, para llevarlo a un proceso. El *kanban* de transporte indica la cantidad que enviar al proceso siguiente.

Para comprender el funcionamiento del sistema, vamos a exponer, con la ayuda de la figura 6.3, cómo se aplicaría el mismo a un proceso producción-venta similar al expuesto para el supermercado:

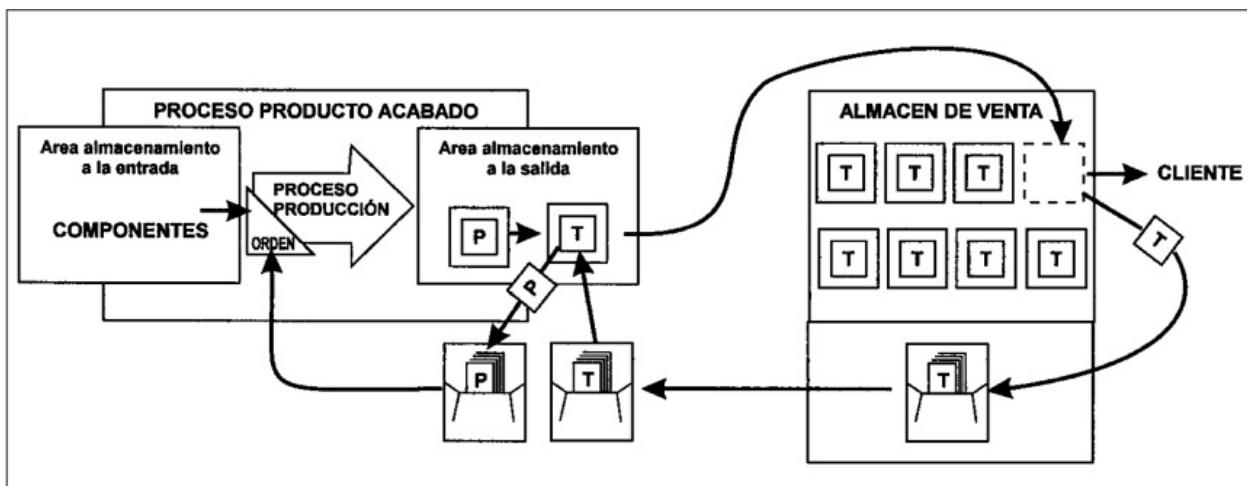


Figura 6.3. Esquema de funcionamiento del *kanban* de transporte.

En la estantería de la tienda o almacén de venta, hay varios envases o contenedores de producto acabado con una tarjeta de tipo transporte (T). Un cliente se lleva envases y las correspondientes tarjetas T van a un casillero que almacena las tarjetas de los productos retirados que, lógicamente, deben reponerse. Estas tarjetas se remiten a la línea de producción de dichos envases de producto, al final de la cual existe otro casillero donde se depositan y se transforman automáticamente en órdenes de envío de lotes de producto acabado al almacén de venta.

En la línea de producción existe un casillero con tarjetas de tipo producción (P) que, guardando un paralelismo con lo que ocurre con el caso de las tarjetas tipo T, constituye una *orden de producción de un lote de producto acabado*, ya que, como veremos, se almacenan en el casillero a medida que se retiran los envases correspondientes a los lotes, para llevarlos al almacén de venta, que por tanto deben reponerse.

Cada tarjeta de tipo P del casillero supone una orden de producción de un lote de producto, que se inicia con la utilización de los componentes que requiera, procedentes de procesos de producción o suministros anteriores, que se enlazarán con nuevos *kanban*, como veremos. La tarjeta P hace pues de orden de producción de un lote de producto, mediante el envase o contenedor correspondiente y se adjunta al mismo o al utilizado en el proceso productivo; al final del mismo se dispondrá de un envase o contenedor de producto acabado con una tarjeta tipo P.

Las tarjetas tipo T que están en el casillero correspondiente son, como se ha expuesto, órdenes de envío de lotes de producto al almacén de venta. Así pues, a medida que se van obteniendo lotes de producto acabado en la línea de producción, se les separa la tarjeta tipo P (que se deposita en su casillero) y se les coloca una tarjeta tipo T, tras lo cual se remiten al almacén de venta en sustitución de los lotes retirados por los clientes y, con ello, se cierra el proceso.

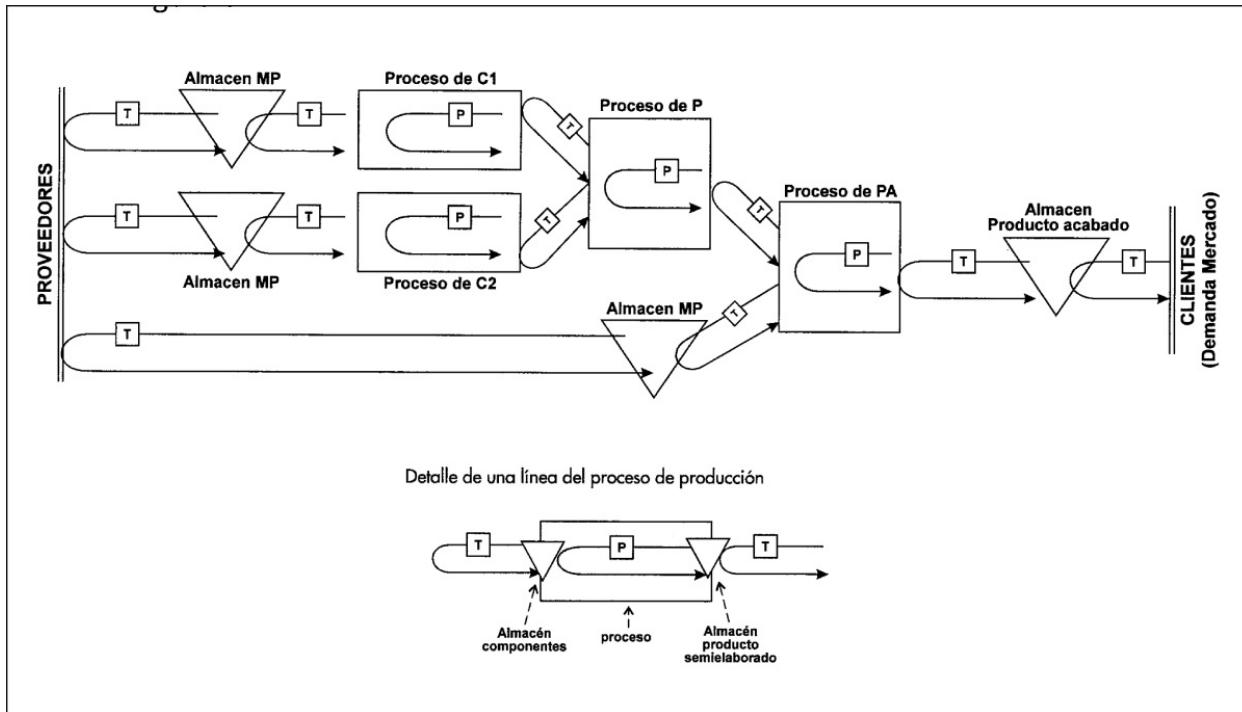


Figura 6.4. Esquema general de la operativa con el sistema *kanban*.

Por medio de la figura 6.4 podemos comprender el funcionamiento general del sistema *kanban* en un conjunto de procesos interconectados y los suministros internos y externos. Supongamos ahora que el proceso de suministro al mercado se lleva a cabo por medio de un almacén de producto acabado. Supondremos, además, que se utilizan determinados contenedores para disponer y transportar los suministros, componentes y productos. En el almacén de venta de producto acabado, a medida que los productos se vayan vendiendo, este proceso dejará vacíos los correspondientes contenedores, que disponen de sendas tarjetas (*kanban*) de tipo movimiento o transporte (que en adelante denominaremos abreviadamente *KT*), que se depositarán en un casillero de tarjetas que reponer.

La reposición se efectúa atendiendo a la información de la *KT* que se asocie a cada contenedor (con la cantidad y clase de producto que se precise), extraída del casillero de tarjetas tipo *T*. Los contenedores vacíos con sus *KT* se llevan a la salida del proceso de producción y se deja su *KT* en el casillero correspondiente. En este punto podrá haber contenedores llenos con producto acabado con tarjetas de tipo *P* (en adelante *KP*); si los hay en la cantidad y clase del producto solicitado por las *KT* situadas en el casillero, se les separa su tarjeta tipo *P* (que se sitúa en su casillero) y en su lugar se coloca la

correspondiente de tipo T, y se devuelven al almacén de producto acabado, terminándose así el proceso de reposición de los productos suministrados por dicho almacén al mercado.

El proceso de solicitud de reposición desde el almacén ha sido representado en la figura por una flecha que parte del almacén de producto acabado, con un pequeño cuadrado con una T —que representa la tarjeta de transporte KT— que va hasta el final del proceso de producción y regresa al almacén de producto acabado. A partir de ahora llamaremos a esta representación *flecha de tarjeta*, y la tarjeta será de transporte o de producción. Puede apreciarse que existe otra flecha de tarjeta de transporte entre el cliente final y el almacén de producto acabado: se trata del pedido del cliente, que puede constituir un auténtico *kanban*, aunque no utilice tarjeta alguna.

Ahora, yendo siempre hacia atrás en el proceso, encontramos contenedores llenos de producto acabado (PA) al final de su proceso de producción, que deberán asimismo reponerse cuando sean retirados, en cuyo caso, las correspondientes tarjetas de producción KP se depositan en el casillero de tarjetas que reponer. Para hacerlo, se programan nuevas producciones de acuerdo con las tarjetas que reponer, en la clase y cantidad de producto que indiquen. Las tarjetas se insertarán en los correspondientes contenedores llenos con el producto acabado; en la figura 6.4, este proceso se ha representado por una flecha de tarjeta de producción.

A medida que el citado proceso de producción avanza, se van vaciando los contenedores de los materiales y componentes que ha precisado para su proceso, y se generarán nuevos *kanban* tipo KT que se situarán en el casillero de materiales que reponer. Para hacerlo se iniciará un nuevo proceso de solicitud de contenedores llenos con sus correspondientes KT, esta vez a los procesos y/o almacenes de suministro anteriores al proceso de PA. Nos referimos a las dos flechas de tarjeta KT que van desde el proceso de PA, siempre hacia atrás, hasta el del producto P por un lado y hasta el almacén de MP por el otro, y se procede, como ha sido expuesto, a reponer estos contenedores, que a su vez generarán nuevas tarjetas que reponer, del tipo KP en el proceso de P y del tipo KT en el almacén de materias primas MP, que por cierto provocará una orden de reposición al exterior (proveedor); esto no hace variar el sistema, ya que los *kanban* pueden (en forma de orden de pedido) funcionar igual hacia suministros exteriores. El sistema seguirá tal y como se ha expuesto, sucesivamente, hasta llegar al inicio del ciclo de

producción, que normalmente terminará en los distintos proveedores.

En la parte inferior de la misma figura se puede observar un *detalle* del funcionamiento de las distintas tarjetas en cualquiera de los procesos del sistema productivo. Representamos el proceso productivo por un rectángulo con una zona de almacenamiento que hemos situado al final de dicha línea para los contenedores de producto acabado o semielaborado y otra zona de almacenamiento al inicio del proceso para los componentes que precisa el mismo. El proceso de producción se representa por una flecha de tarjeta tipo P que parte de la zona de almacenamiento final, va hasta la que existe al inicio y vuelve al final. Es decir, cada línea del proceso de producción la supondremos ubicada entre dos zonas de almacenamiento (de componentes al inicio y producto al final). Finalmente, las zonas de almacenamiento, a su vez, se proveerán y enviarán los materiales que generan a través de sus propias flechas de tarjeta, en este caso de transporte.

La figura 6.5 presenta el sistema de tarjetas para enlazar varios procesos entre sí: los que existen entre los componentes C_1 y C_2 y el producto elaborado P a partir de los mismos, aunque solo se ha efectuado la representación completa para C_1 .

El sistema arranca con el envío de producto P al proceso siguiente en contenedores con KT . Una vez consumido en dicho proceso siguiente, el contenedor vacío con una KT regresa del mismo y su KT se sitúa en el casillero de *kanban* de transporte de contenedores que reponer. Cuando se obtenga, al final del proceso de producción de P , un contenedor lleno con su tarjeta KP , sustituirá ésta por una de tipo KT y devolverá la KP a su casillero.

El citado proceso del producto P se alimenta con los componentes C_1 y C_2 , que llegan en sendos contenedores llenos con sus KT ; éstas se depositan en el casillero correspondiente. Una vez vacíos los contenedores, y cuando se desee devolverlos al proceso anterior para reponer su contenido, se les colocará la KT correspondiente a la clase y cantidad de material que se precise reponer. En los procesos en que se elaboran los componentes C_1 y C_2 , las cosas funcionan siguiendo el mismo procedimiento.

La figura 6.6 destaca unos contenedores con las tarjetas *kanban* que los acompañan, así como la información necesaria en cada una de ellas, que identifica el producto, el proceso, la cantidad de piezas por tarjeta, etc.

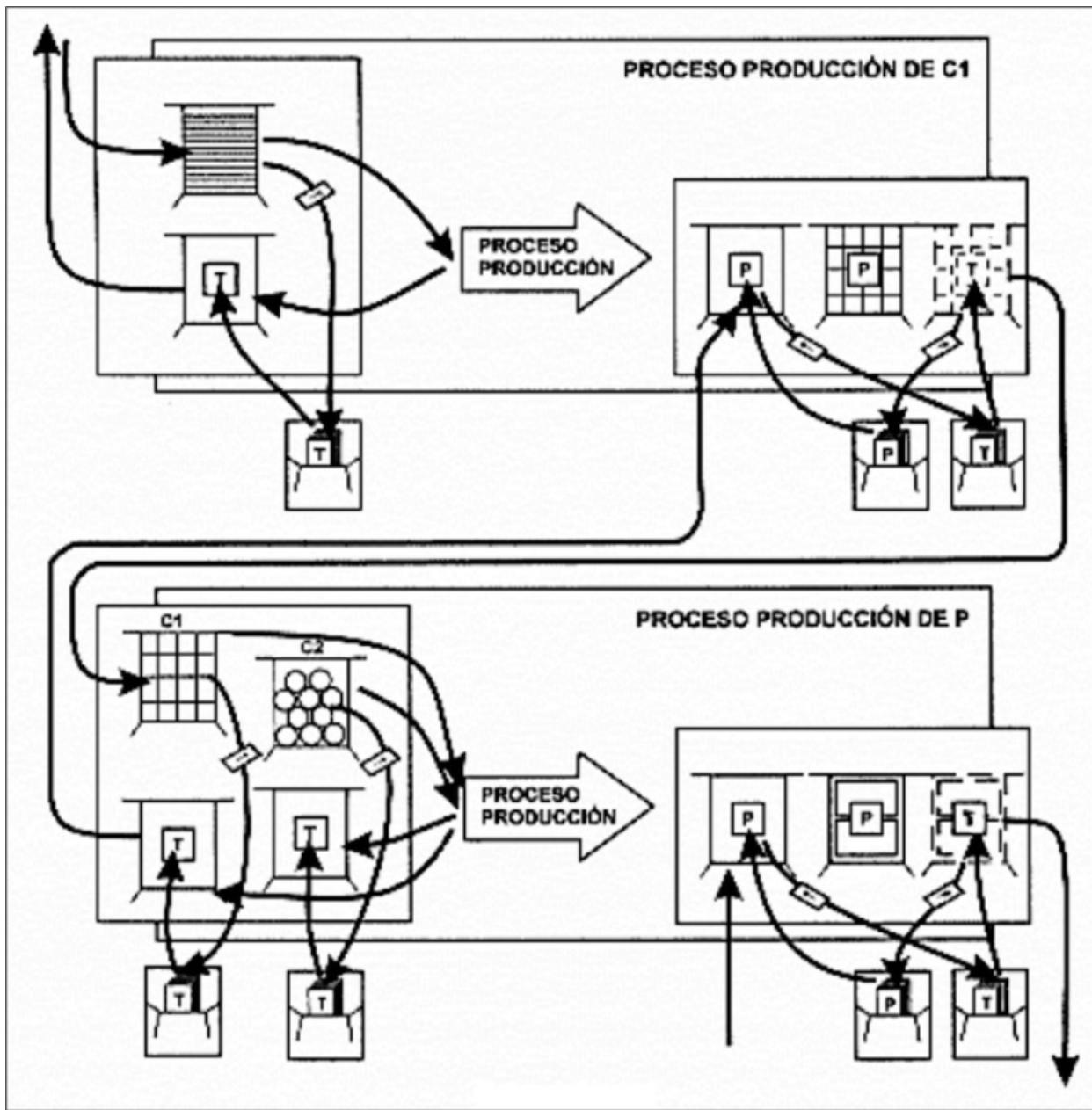


Figura 6.5. El sistema *kanban* en la operativa de un proceso de producción.

6.2.1. Determinación del número de tarjetas *kanban* necesarias

Expuesta la mecánica de funcionamiento del sistema *kanban*, se nos plantean dos cuestiones. ¿Qué significado podemos dar en el sistema *kanban* a las tarjetas que están en un contenedor y a las que están en los casilleros? ¿Cuántas tarjetas debería haber en total?

Por lo expuesto hasta aquí, podemos asegurar que un casillero que

contenga un cierto número de tarjetas, sean de producción o de transporte, supone que se va a solicitar el correspondiente material a un proceso (tipo P) o almacén (tipo K), en una cantidad indicada en la tarjeta que lleva.

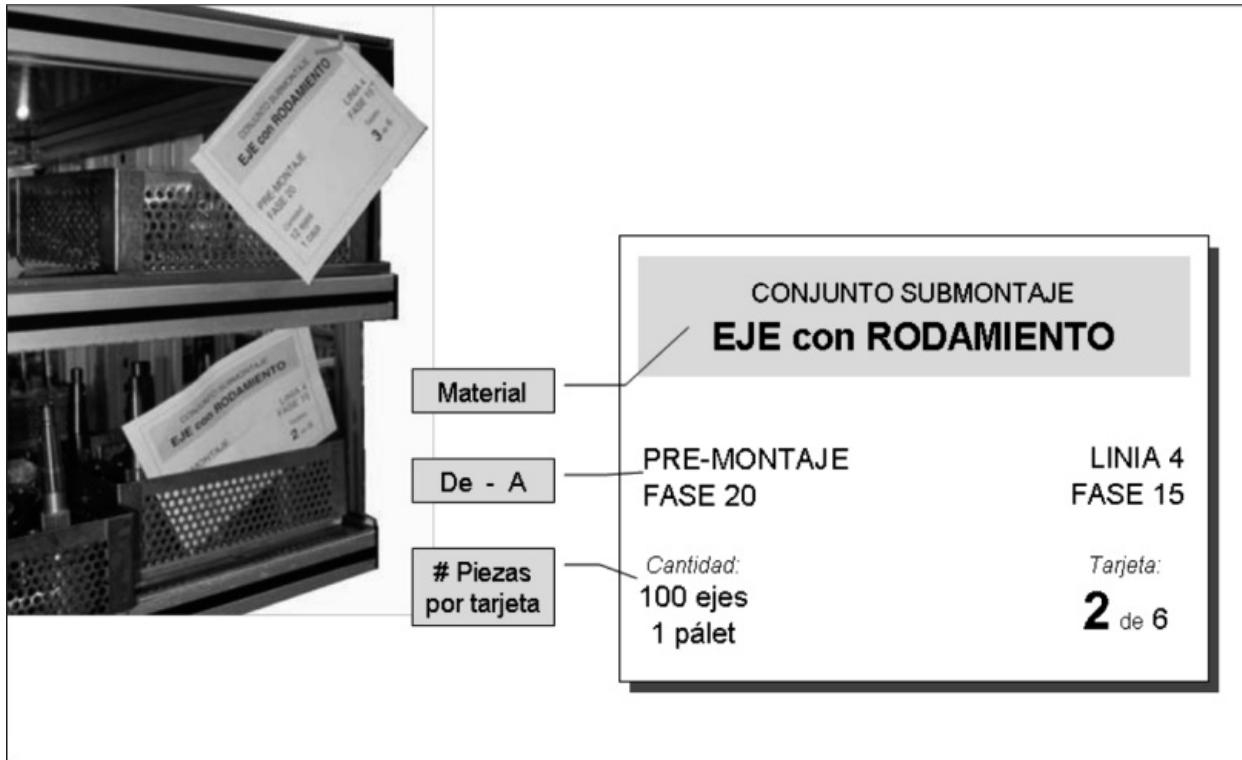


Figura 6.6. Situación y detalle de las tarjetas *kanban* en un proceso.

Las tarjetas que están en los casilleros al final de un proceso suponen las disponibilidades de atender solicitudes de producción o entrega de materiales a un proceso posterior. Si no hay una tarjeta tipo T disponible en el casillero para colocarla en un contenedor lleno y enviarlo al proceso que sigue, no puede ser entregado a éste el correspondiente material.

Lo ideal es que exista un total de tarjetas que permita cubrir el lapso de tiempo (*lead time*) existente desde que se solicita un material al principio de un proceso colocando la tarjeta de tipo T en un contenedor vacío hasta que se obtiene el contenedor lleno situado en el mismo lugar, incluyendo el proceso de producción u obtención del suministro; un pequeño margen de seguridad sobre este mínimo será normalmente admitido. Pero ¿cómo determinar la cantidad de tarjetas que debe existir de cada clase para una línea determinada del proceso, cantidad que a su vez limitará las existencias en curso?

Para calcularla partiremos de las siguientes magnitudes:

- **Q:** Consumo medio previsto del material por unidad de tiempo.
- **LT:** *Lead time* total de suministro de contenedor lleno desde que se solicita y se envía vacío al proceso anterior, hasta que se recibe lleno, pasando por el período de producción o suministro dentro del proceso anterior. La unidad de medida del tiempo LT será la utilizada para Q.
- **q:** Capacidad del contenedor (cantidad que figura en la tarjeta) con la que se llenará el mismo.
- **K:** Cantidad total de tarjetas *kanban* que podrán existir entre las de tipo transporte y las de producción (a veces se utiliza una sola, combinación de los dos tipos). La distribución entre ellas dependerá del proceso, el número de componentes y productos procesados y las cantidades que figuren en las tarjetas.

Es evidente que debe cumplirse que:

$$K = \frac{Q \cdot LT}{q}$$

Si se considera la existencia de un stock de seguridad *SE*, este stock dará lugar a una cantidad adicional de tarjetas:

$$Ke = \frac{SE}{q}$$

que en caso de que se exprese como un porcentaje sobre el número de tarjetas calculadas anteriormente, a través de un coeficiente μ será:

$$Ke = \frac{Q \cdot LT}{q} \cdot \frac{\mu}{100}$$

El total de tarjetas necesarias será pues:

$$KT = K + Ke = \frac{Q \cdot LT \cdot (1 + \mu)}{q}$$

Evidentemente la cantidad de producto en curso en un momento dado, dependerá de la cantidad de tarjetas que se encuentren en los casilleros, de

forma que cuando no haya ninguna tarjeta en ellos, la cantidad de producto en curso será la máxima posible.

Por otra parte, se observará que para reducir el producto en curso, debe actuarse sobre el *lead time LT* o sobre el stock de seguridad *SE*, lo que supone reducir el tiempo de reposición del material (LT) o reducir la irregularidad de la demanda (que permitiría operar con una seguridad menor).

6.2.2. La gestión de los procesos por medio del sistema *kanban*

Un sistema *kanban* bien implantado dará lugar a innegables ventajas a la gestión global de la producción. Veamos algunas:

- ✓ Permite que cada departamento sepa en todo momento cuál es la producción que tiene pendiente por las tarjetas de producción de su casillero.
- ✓ Cada departamento conoce las necesidades de componentes procedentes de procesos anteriores pendientes de cubrir, por lo que se refiere a las tarjetas de transporte que acumula en su casillero de entrada.
- ✓ Permite identificar rápidamente los cuellos de botella y, por tanto, aquellos procesos en los que la productividad es insuficiente: la excesiva acumulación de tarjetas pendientes los delatará. Ello permitirá que el *kanban* pueda tener una función nada despreciable dentro de la *mejora de procesos*.
- ✓ El stock de producto en curso no pueden superar un límite predeterminado a partir del número de tarjetas existentes, tal y como ya se ha expuesto.
- ✓ Se simplifican mucho los procedimientos administrativos y las tarjetas pueden utilizarse como órdenes de producción y como pedidos a otras empresas.
- ✓ El *kanban* es un sistema que cubre la función de *control de la producción* y logra que los materiales y productos lleguen a cada proceso, en la clase, cantidad y momento en que se precisan.

El sistema *kanban*, por otra parte, debe partir de un diseño y una

implantación adecuados de los procesos de producción, con una distribución en planta racional y flexible; además, el *kanban* debe implantarse de forma que pueda actualizarse permanentemente en función de la evolución de la demanda y de los sistemas de producción y permite recalcular, cuantas veces sea conveniente, el número de tarjetas necesarias en cada proceso. A medida que dicho número de tarjetas vaya disminuyendo por la mejora continua del sistema, se reducirá la cantidad de existencias, lo que puede poner de manifiesto otros problemas o deficiencias que podían permanecer ocultos.

El sistema *kanban*, finalmente, implica una clara utilización de la gestión visual que afecta a los lugares en los que puede haber materiales, las cantidades que pueden acumularse, la cantidad de trabajo pendiente, los aprovisionamientos necesarios, etc. En la figura 6.7 podemos observar una zona de almacenamiento limitada, preparada para unos carritos con señales visuales de los contenedores que pueden albergar, junto con la información necesaria de producto, proceso, cantidades, etc.

La figura 6.8 ilustra un tablero de tarjetas *kanban*, con unas cintas rojas-amarillas-verdes que ayudan a priorizar: las tarjetas que llegan a amontonarse hasta la zona roja son las que tienen una mayor urgencia para su producción.

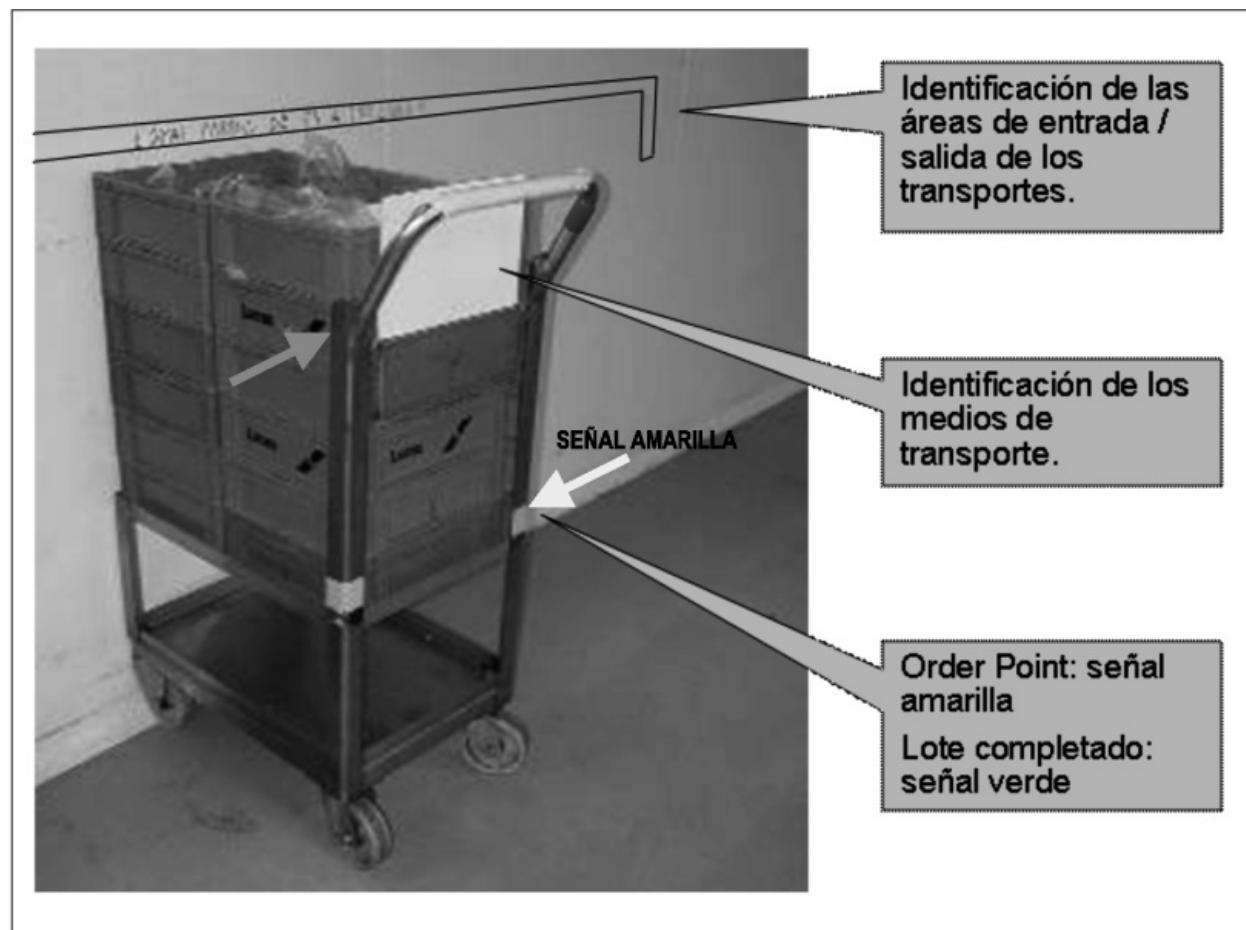


Figura 6.7. Disposición visual de áreas de almacenamiento.

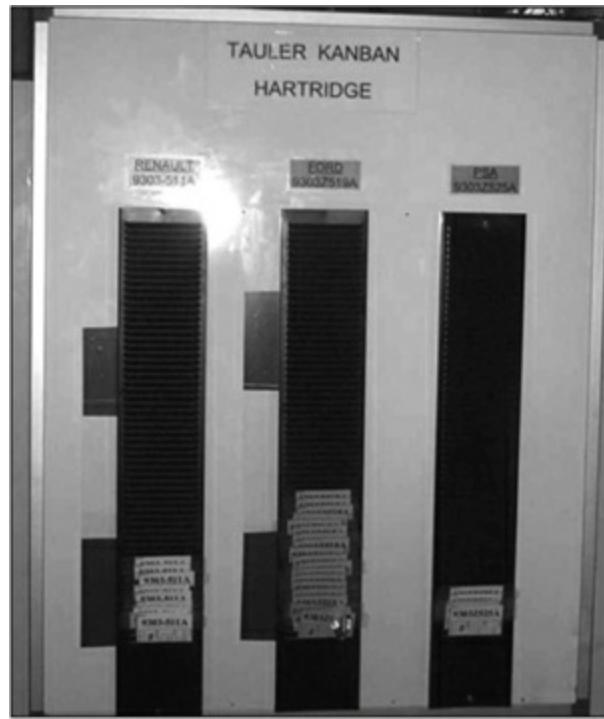


Figura 6.8. Tablero con tarjetas *kanban*.

En el tablero con las tarjetas quedan reflejadas las necesidades del cliente, pero, al mismo tiempo, la posibilidad de elegir una tarjeta u otra permite escoger el tipo y tamaño de lote a producir/entregar en un momento dado. Ello es característico de los supermercados que separan dos flujos integrados por grupos de operaciones que presentan diferencias de ritmo o necesidades de producción, lo que hace aconsejable no fusionarlos en un flujo único, sino separarlos mediante un stock, y cada uno de dichos flujos constituye lo que se conoce como un *loop*.

Dado que en una planta coexistirán un número dado de *loops* con supermercados entre ellos (aunque podrían estar separados también mediante FIFO), el aprovisionamiento y recogida de materiales y contenedores vacíos de toda una agrupación de ellos puede llevarse a cabo mediante rutas programadas con horarios fijos y sistemas de transporte que las recorran.

6.3. Elementos de soporte para el flujo de materiales e información

La *containerización* es una herramienta de soporte en la distribución de materiales, que permite concretar el número y tamaño de los contenedores utilizados y disponer de esta información cuando y donde se requiera. En realidad, se trata de una tabla informativa en la que se fija el número de contenedores necesarios en una línea de producción, dependiendo de las características de cada contenedor y del tiempo de stock necesario. En la tabla se reserva una fila para cada tipo de pieza a containerizar y, en las columnas, debe figurar la información relevante de cada una y en especial:

- La pieza a alojar en el contenedor y su descripción.
- Tipo de contenedor.
- Forma de presentarse las piezas al operario: cajas, alimentadores, etc.
- Número de piezas/contenedor.
- Número de horas de stock de piezas.

Las *estanterías* constituyen un elemento muy importante para situar los materiales, que hace referencia a la disposición de éstos cuando se hallan almacenados.

En las estanterías debe depositarse el material, pero también la información. Una adecuada gestión visual de las mismas es fundamental, de forma que baste con un vistazo para saber qué es lo que hay en cada elemento de la estantería y, por supuesto, qué es lo que falta. Si las estanterías están bien diseñadas, los trabajadores podrán pedir material cuando se le vaya a agotar, y quien lo vaya a buscar sabrá qué es lo que tiene que recoger y el supervisor podrá rebalancear los recursos de la línea. En la figura 6.9 se observa una estantería y una adecuada organización de los materiales y de la información en la misma. En ella puede apreciarse claramente cómo están ordenados los elementos que siguen:

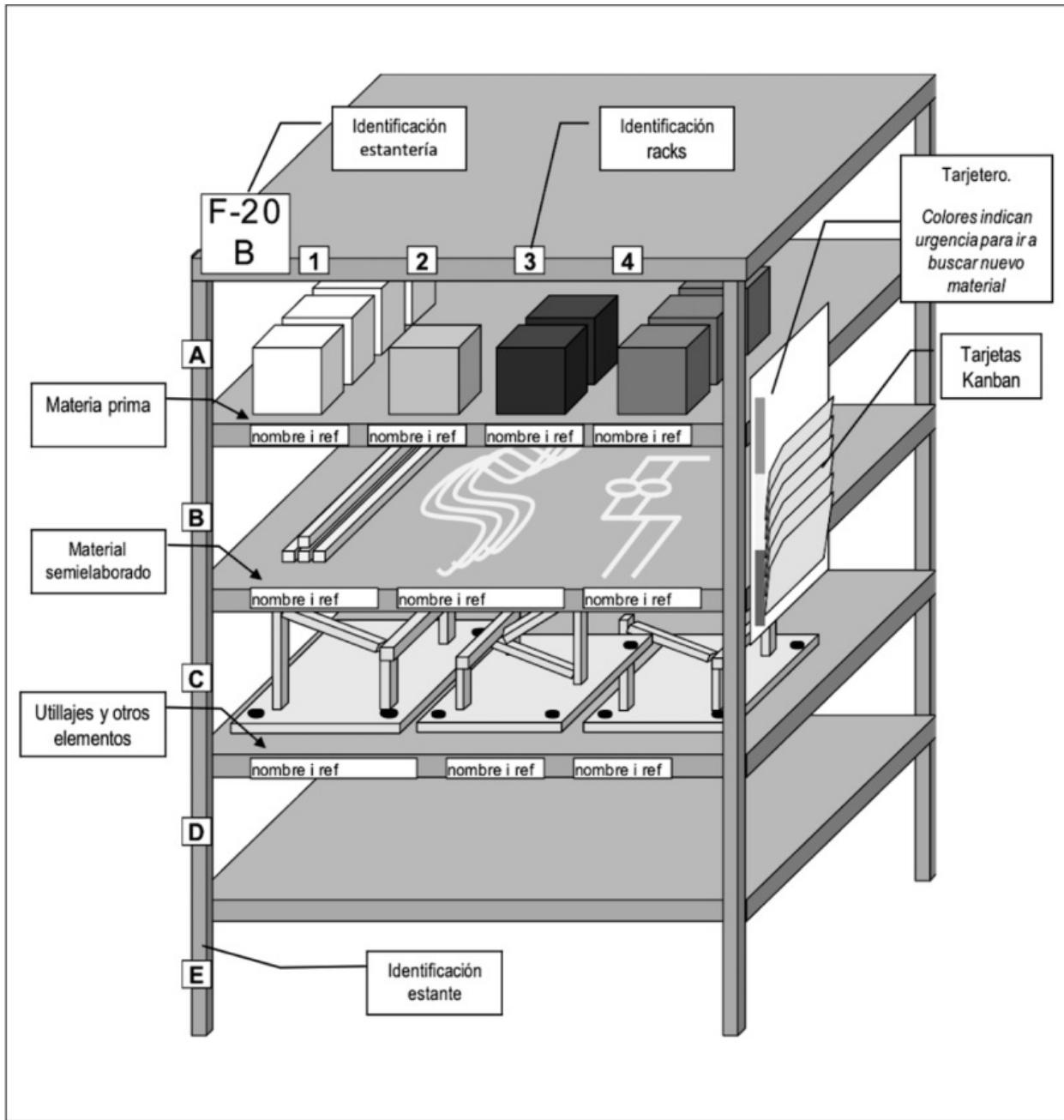


Figura 6.9. Estantería con organización de materiales e información.

- *Materia prima*, con la información de las tarjetas *kanban*, o mediante *pull* ejercido sobre material común.
- *Material semielaborado* y, por tanto, en espera para ser utilizado en algún proceso ulterior, adecuadamente identificado.
- *Información*: las tarjetas *kanban* que se van acumulando por riguroso orden de lanzamiento en un portatarjetas adosado en un lateral de la

estantería.

- *Utilajes*: puede existir un lugar para utilajes y otros elementos necesarios a la misma altura que la mesa de trabajo donde se utilizarán (si es posible).

$Takt\ time: Tk = 4$ minutos >>> Consumo por unidad de tiempo (1 / Tk): Q = 0,25 uds.						
Ref. actividad	Descripción	U (unidad) L (lote)	Tiempo proceso	Puestos de trabajo	Lote transf. (uds./tarjeta)	Tiempo de ciclo equivalente
1	Corte y doblado de tubos (juegos de tubos de una silla)	U	4	1	1	4,00
2	Soldadura de la estructura tubular	U	9	2	1	4,50
3	Transporte a muelle de carga	L	3	Transporte	25	0,12
4	Cromado en planta externa (transportes y proceso)	L	100	Externa	25	4,00
5	Transporte de muelle descarga a siguiente actividad	L	2	Transporte	25	0,08
6	Ensamblaje de sillas de cuero	U	20	5	1	4,00
7	Transporte a departamento de expediciones	L	3	Transporte	25	0,12

Lead time lote con 1 tarjeta	Nº tarjetas supermercado	
	Parcial operación	Total proceso
4,00	1,00	
4,50	1,13	
111,00	1,11	4
112,50	1,13	
2,00	0,02	2
4,50	1,13	
111,00	1,11	3

Figura 6.10. Implementación del flujo pull mediante el sistema *kanban*.

Junto a las estanterías, el área de trabajo también debe estar ordenada para dar este complemento *visual* a la gestión de los materiales y del flujo.

6.4. Caso práctico de evolución desde una operativa tradicional hasta el *lean manufacturing*. Etapa de establecimiento del flujo *pull*

Vamos ahora a continuar con el caso-ejemplo iniciado en el capítulo anterior (epígrafe 5.5 del mismo) para el diseño, desarrollo e implantación de procesos de fabricación de sillas de cuero, de acuerdo con la ingeniería *lean*. En este epígrafe avanzaremos un poco más y abordaremos la operativa *pull* mediante el sistema *kanban*.

El punto de partida será el que representa el proceso en el punto en que lo dejamos en el capítulo anterior, la tabla de la figura 5.20, con las siete actividades implantadas en dos flujos: fabricación de la estructura metálica y

ensamblaje de las sillas, y entre medio existe un proceso de cromado de las estructuras que se realiza en el exterior.

Esta tabla, a la que hemos añadido un cuadro en la parte inferior para implementar el sistema *kanban*, es la mostrada en la figura 6.10. Se parte de un tiempo de ciclo (*takt time*) de cuatro minutos que, como se sabe, es el que el proceso ha alcanzado o se halla ya muy cerca en todas las actividades, siendo el consumo por unidad de tiempo el valor inverso de dicho ciclo: cuatro minutos por unidad implica un consumo de 0,25 unidades por minuto. Así pues, solo nos falta el *lead time* para poder el número de tarjetas necesarias para cada actividad.

Así, la primera actividad entrega una sola unidad cada vez (lote de transferencia) con un ciclo exactamente igual a cuatro minutos: su *lead time* será de $4 \times 1 = 4$ min. Como el producto se entrega de uno en uno, supondremos que cada uno requiere una tarjeta. Así pues, de acuerdo con el cálculo de número de tarjetas expuesto en este mismo capítulo, el número de ellas que requiere esta primera actividad será:

$$N = \text{Consumo} \times \text{lead time}/\text{uds. producto tarjeta} = 0,25 \times 4/1 = 1$$

Del mismo modo, la segunda actividad requerirá un número de tarjetas igual a:

$$N = 0,25 \times 4,50/1 = 1,13$$

La tercera actividad es un transporte cuyo tiempo total para todo el lote es de tres minutos (un equivalente de 0,12 por unidad transportada, según indica la columna de tiempo de ciclo equivalente). Sin embargo, no se puede efectuar el transporte hasta completar un lote de 25 unidades, de las que, en este momento, solo tenemos una, la que ha entregado la actividad anterior. Así pues, para calcular el *lead time*, necesitamos determinar el tiempo que requiere recibir otras 24 unidades de producto, desde el proceso anterior cuyo tiempo de ciclo, recordemos, es de 4,5 minutos/unidad, lo que supone un total de $24 \times 4,5$ minutos, a lo que tenemos que añadir el tiempo del transporte posterior a realizar. Con ello, el *lead time* de la tercera actividad será de:

$$LT = 24 \times 4,5 + 3 = 111 \text{ minutos}$$

Lo que, teniendo en cuenta que ahora una sola tarjeta irá asociada a un contenedor de 25 unidades que se entregan simultáneamente, el total de tarjetas para esta operación será de:

$$N = 0,25 \times 111/25 = 1,11$$

Así pues, el total de tarjetas que requerirá el proceso de fabricación, constituido por las actividades 1, 2 y 3, será de:

$$N = 1 + 1,13 + 1,11 = 3,24$$

que redondearemos a cuatro por seguridad, valor este que es el que aparece en la columna de la derecha.

Siguiendo el mismo procedimiento, se han calculado el número de tarjetas para el proceso de cromado externo —que, aunque sea un aprovisionamiento externo, requiere igualmente un stock para preservar la operativa *pull*— y para el proceso de ensamblaje final, que da un total de 4 + 2 + 3 tarjetas en el global de los procesos.

La figura 6.11 presenta la implantación en flujo del conjunto de procesos, tal como había quedado tras la implantación en flujo (figura 5.21 del capítulo anterior) incorporando ahora el sistema de tarjetas *kanban*.

Como puede observarse, la transpaleta final se lleva del supermercado de producto acabado, mediante tarjetas *kanban* de transporte (T1), lo que genera las correspondientes tarjetas de producción (P1) enviadas al inicio del proceso de ensamblaje final, para lo que se requieren materiales (estructuras cromadas y otros) del supermercado que alimenta este proceso, que se efectúa mediante las tarjetas de transporte T2. Éstas, a su vez, retiran del supermercado materiales que generan nuevas tarjetas de producción P2 (de cromado de estructuras, que representamos por el elemento de transporte que las lleva al muelle de carga para enviarlas al proceso externo de cromado). El proceso *pull* sigue así hasta llegar al primer proceso, que se nutre de materiales (tubos de acero) del supermercado correspondiente, mediante las tarjetas de transporte T4.

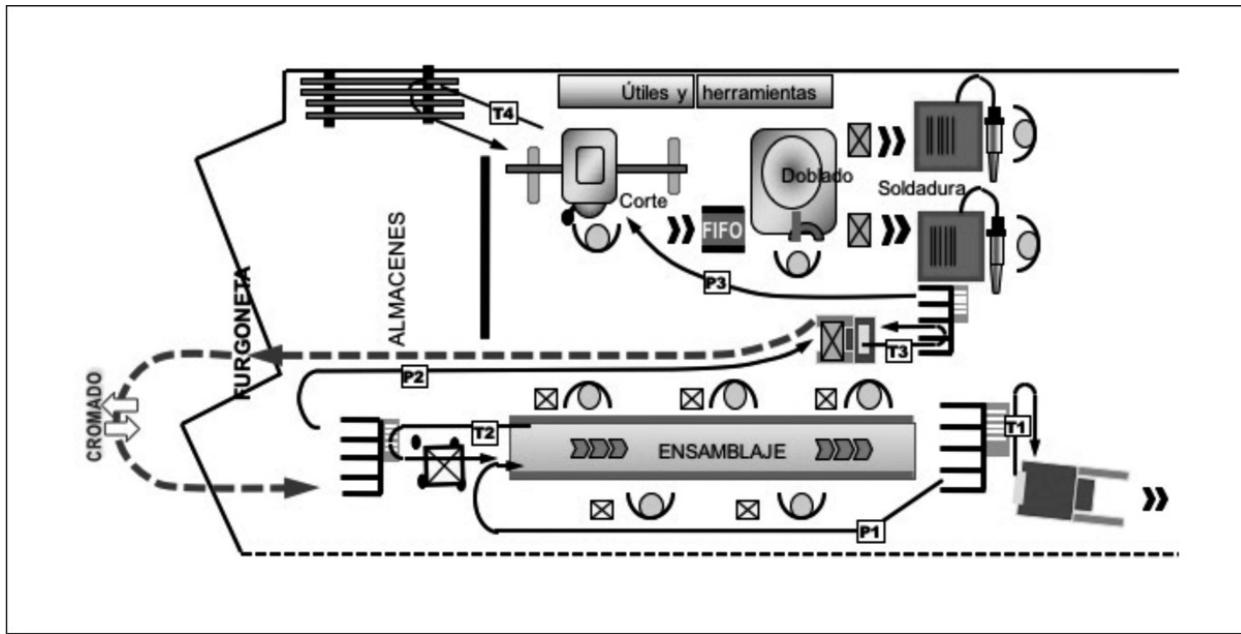


Figura 6.11. Diseño de la planta incluyendo el sistema *kanban*.

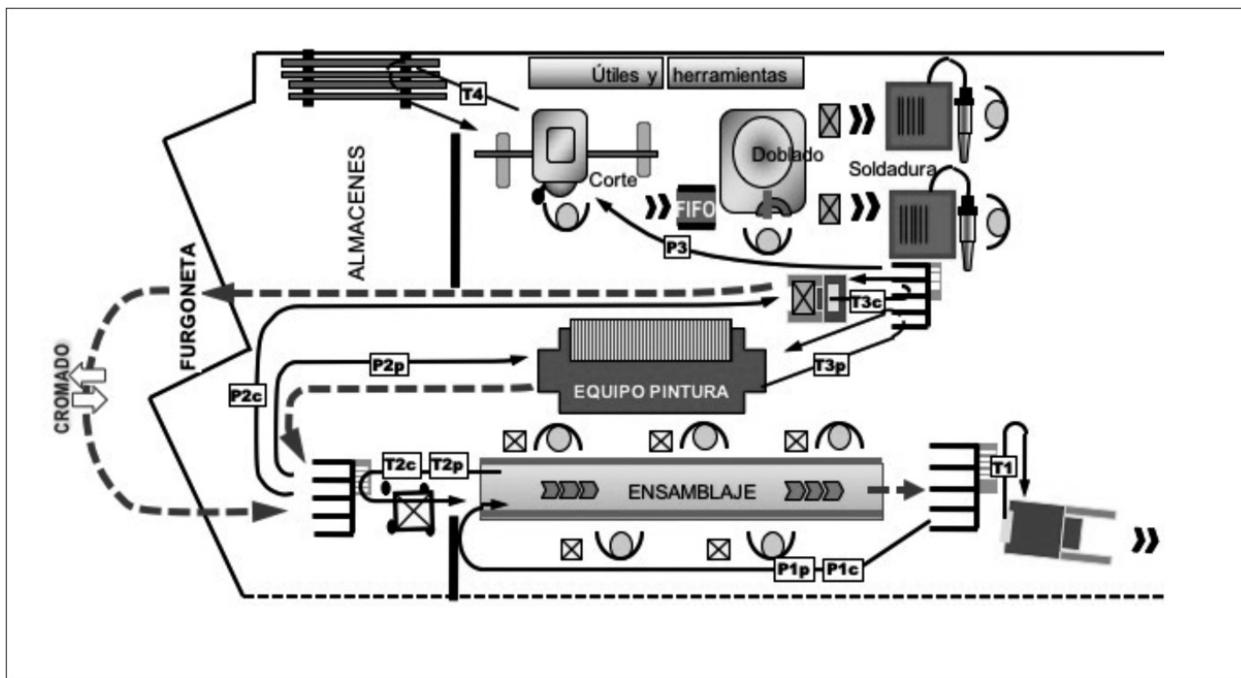


Figura 6.12. Diseño de la planta incluyendo el sistema *kanban* para una producción multiproducto.

Con el fin de iniciar el camino hacia la producción multiproducto, con la posibilidad de elegir entre variantes de producto, la figura 6.12 presenta la planta y sus procesos para la producción de dos modelos de silla de cuero: la

cromada y la pintada, con las correspondientes tarjetas del sistema *kanban*. Así pues, se ha dispuesto un equipo de pintura, el que había en la planta tipo taller inicial, de grandes dimensiones y muy poco adecuado para una implantación *lean* en células flexibles, aunque, de momento, servirá.

Las tarjetas *kanban* de producción ahora serán de dos clases. Así, las que proceden del supermercado final serán las P1c (modelo cromada) y P1p (pintada) que, al ponerse en producción, requerirán materiales a través de las de transporte T2c y T2p, respectivamente. Así sucesivamente, yendo hacia atrás —como ha de ser en modo *pull*— llegamos a las T3c y T3p para producir lo que exigen las P2c y P2p. Más atrás ya no cambia respecto a la producción de un solo modelo, ya que las estructuras soldadas son todas iguales.

DISEÑO DE PROCESOS Y PLANTAS DE PRODUCCIÓN

INGENIERÍA DE PROCESOS *LEAN CÉLULAS FLEXIBLES*

La ingeniería de procesos tiene como una de sus grandes responsabilidades el diseño y desarrollo de procesos, al ser la implantación de los mismos responsabilidad de la ingeniería de planta. Los diseños de procesos de producción obedecen a dos claras tendencias, sobre las que hemos insistido sobradamente en esta obra:

- Diseño basado en operaciones independientes con *implantación funcional (batch and queue)*, en el que se pretende la máxima productividad para cada operación por separado, pero entorpeciendo el flujo que, difícilmente, resulta visible y regular. A consecuencia de ello, el material se mueve en lotes más o menos grandes, generándose stock y alargándose, con ello, el *lead time*.
En contrapartida, debido a que se comparten los equipos de producción, su rentabilización no exige producir artículos que demanden grandes volúmenes y, debido a la independencia de las operaciones, hay mucha flexibilidad para cambiar la ruta de operaciones de los procesos.

Se trata de los procesos que efectúan los talleres.

- Diseño basado en *operaciones fuertemente vinculadas dentro del proceso, con implantación en flujo pull*, con las citadas operaciones muy próximas entre sí, y en el que el proceso y su flujo regular e ininterrumpido son los elementos que importan.

El material se mueve unidad a unidad o en pequeños lotes, que minimizan así el stock, además de que al avanzar unidad a unidad se reduce al máximo el *lead time*. Minimizar el stock y el *lead time* son los dos grandes objetivos del *lean manufacturing*, por lo que no ha de sorprender que este modelo de gestión elija este tipo de diseño para sus procesos.

Sin embargo, este tipo de línea de producción está dedicado a un determinado tipo o familia de productos, por lo que éstos deberían precisarse en un volumen ciertamente elevado, que justifique la inversión en la línea. Además, ésta no tendrá la flexibilidad que permita cambiar el proceso para otros tipos de producto, como sí ocurría en la implantación de tipo funcional.

Es la producción propia de las plantas productivas con diseños avanzados, aunque la producción en flujo se lleva a cabo también en las cadenas de montaje tradicionales, de forma que los sistemas de producción convencionales suelen reservar la producción por talleres para la fabricación.

El caso más avanzado de diseño e implantación de procesos —con implantación en flujo *pull*— es, como se ha dicho, el *lean manufacturing*. El máximo exponente de este tipo de diseño es la denominada *célula flexible* aplicable tanto a la fabricación como al montaje, tal como se expondrá en este capítulo.

Las *células flexibles* permitirán incorporar las características del modelo *lean* y alcanzar, simultáneamente, la flexibilidad con bajos volúmenes de producción y, al mismo tiempo, la eficiencia, rapidez y bajos costes de la implantación en flujo.

Con la incorporación de las nuevas tecnologías de la información, estas mismas células constituirán la base de los *sistemas de fabricación flexible (FMS)* de los que nos ocuparemos más adelante.

En 1985, Hyer y Wemmerlöv describieron ya las *células flexibles* como sistemas híbridos con características propias de la producción por talleres (con su capacidad para producciones flexibles y bajos volúmenes) y de las líneas de producción en flujo continuado para la producción en serie.

Las células agrupan las operaciones que constituyen los procesos de producción, que se gestionarán y controlarán como un todo único (gestión por procesos). Ello hará más fácil la planificación, gestión y control de la producción. Además, el necesario equilibrado de la línea se alcanzará con mayor facilidad, los operarios trabajarán mejor en equipo sobre las operaciones que efectuarán en la célula y la calidad del trabajo será mayor.

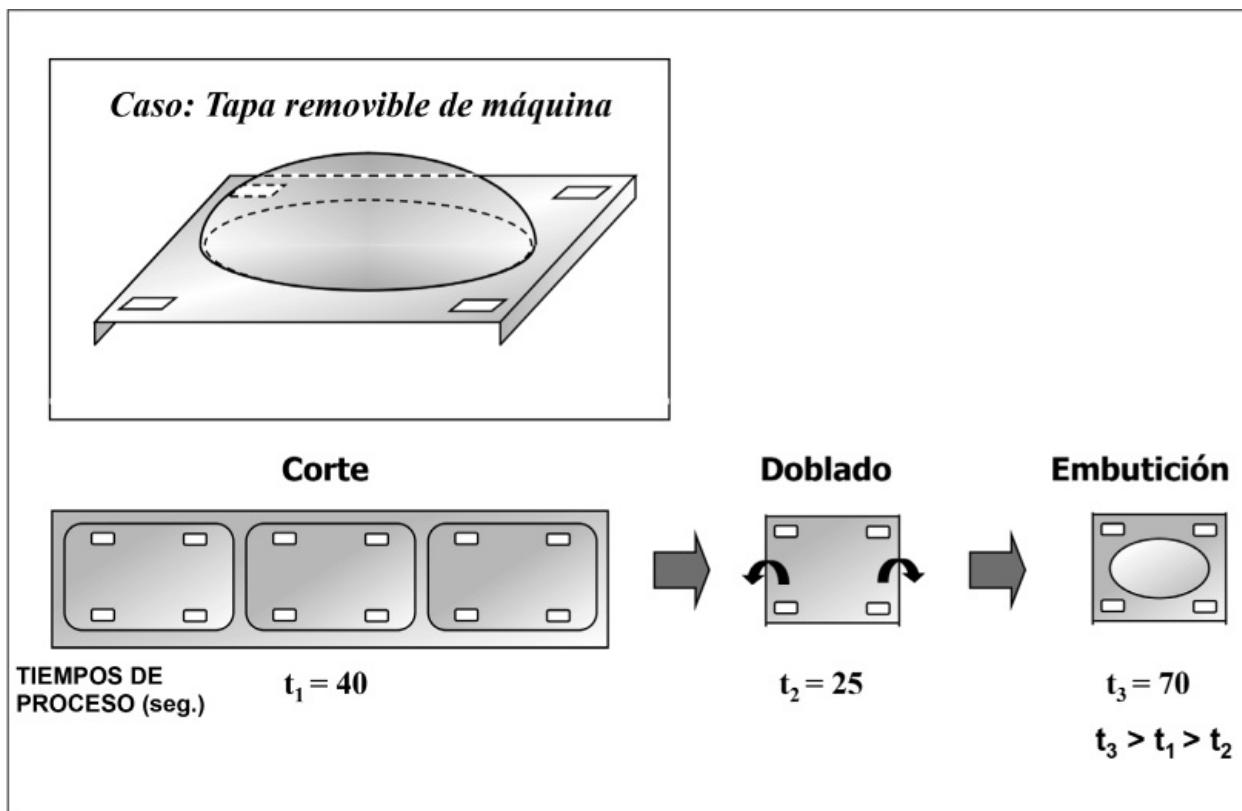


Figura 7.1. Caso ejemplo a utilizar para el diseño de procesos tradicionales y *lean*.

7.1. Diseño e implantación de procesos y sus puestos de trabajo. Modalidades y métricas de eficiencia básicas

Una vez que, en capítulos anteriores, ha sido establecido el movimiento de materiales, tanto con ingeniería de procesos tradicional (*batch & queue*), como con ingeniería *lean* (flujo *pull* y el sistema *kanban*), podemos ocuparnos ya del diseño e implantación de los procesos. Para que el lector tenga una exposición completa de la ingeniería de diseño de procesos, lo vamos a hacer, tanto con gestión tradicional (hasta donde llega) como con el *lean management*; más adelante se abordarán también los aspectos correspondientes a las plantas automatizadas y los sistemas FMS.

Nos apoyaremos, para comprenderlo mejor, en un proceso que servirá de caso-ejemplo de aplicación, representado en la figura 7.1. Se trata de la fabricación de la tapa removible de una máquina a partir de fleje de acero precortado. Las operaciones del proceso son: corte del fleje, del que se extrae una pieza con cuatro agujeros colisos, doblado de la pieza y embutición en prensa.

Ante todo, haremos uso de una herramienta gráfica de gran ayuda para el diseño y mejora de procesos: el *diagrama OT* (operaciones-tiempos), que, para el caso-ejemplo que estamos utilizando, enseña la figura 7.2.

En dicha figura se observa este proceso y sus operaciones y tiempos de proceso de cada una, en principio distintos, como es natural. Con las operaciones y sus tiempos, hemos planteado un primer diseño con una implantación en flujo y el producto avanzando unidad a unidad, aunque sin equilibrado, debido a las diferencias entre los tiempos de cada operación, lo que provocará desajustes (desperdicios) en forma de stock y esperas.

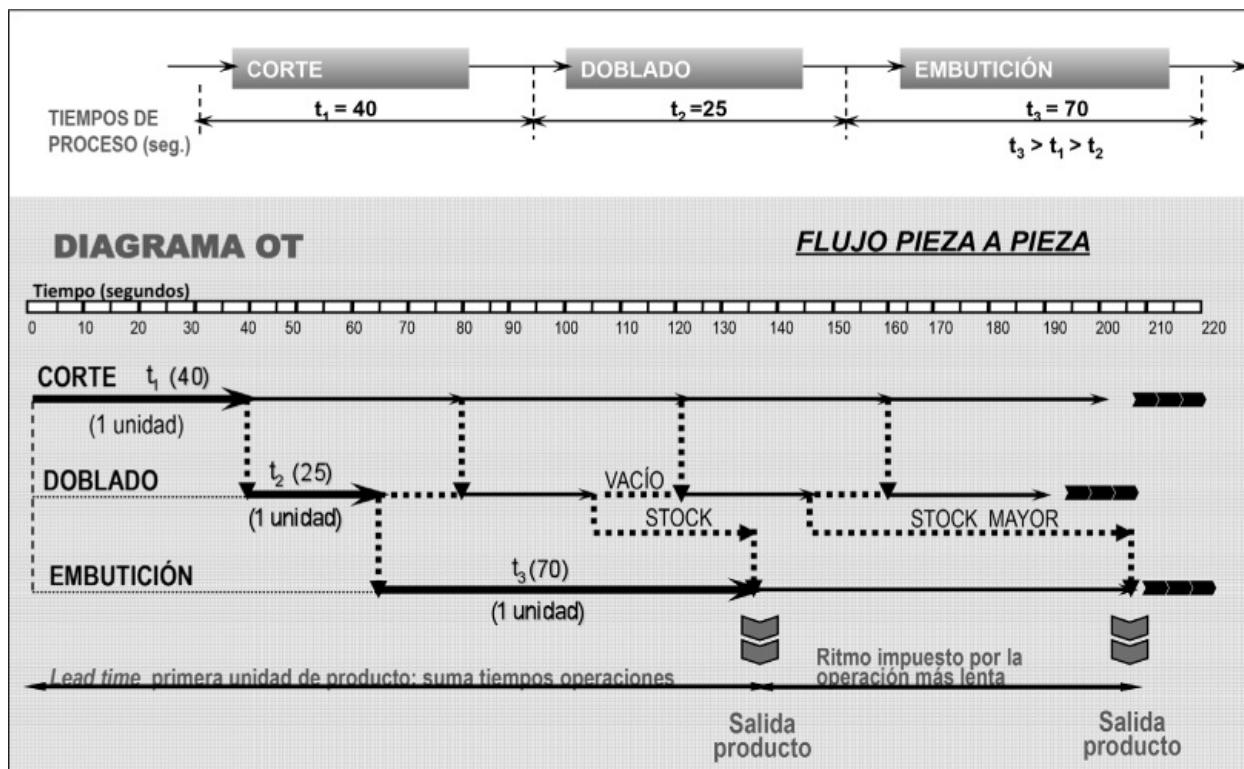


Figura 7.2. Operaciones del proceso y diagrama OT de su implantación en flujo unidad a unidad.

Así pues, en el proceso aparecerán acumulaciones de material —en los cuellos de botella— y tiempos de espera —en las operaciones con poca carga—. Veamos qué es lo que ocurre y las opciones que tenemos.

Como puede observarse, el diagrama OT muestra de forma muy visual y comprensible el desenvolvimiento del proceso, relacionando las operaciones (en vertical) con el tiempo que precisan (en horizontal, sobre una escala de tiempos). La existencia de ésta permitirá, además, calcular las magnitudes clave que optimizar en el proceso.

En el citado diagrama, vemos representadas las distintas operaciones, sus tiempos de proceso y el flujo del producto a lo largo del proceso. Aunque el proceso se halla implantado en flujo, con el producto avanzando unidad a unidad, se producen desajustes, debidos a las diferencias entre los tiempos de proceso. Así, la operación de corte se lleva a cabo de forma continua (y, por tanto, sin esperas ni acumulaciones de material), de la que se obtiene una pieza cada 40 segundos (lo que representamos mediante una flecha de longitud 40 en la escala de tiempos superior), que es enviada a la operación siguiente (doblado), envío que el diagrama representa mediante una flecha vertical en

trazo discontinuo, entre ambas operaciones.

Esta segunda operación, el doblado, tiene un tiempo de proceso de 25 segundos, pero —como indica claramente el diagrama OT— recibe el material cada 40, lo que le supone un tiempo de espera o vacío de 15 segundos en cada unidad de producto. La tercera operación (embutición), por el contrario, con sus 70 segundos, es la más lenta, por lo que el material que llega procedente de la anterior queda a la espera y constituye un stock que va creciendo, hasta que, finalmente, entra en el proceso, como se indica en el diagrama OT, y se puede saber, sin más que observar en la escala de tiempos, cuánto tiempo está el material en stock en cada caso, así como constatar que cada nueva unidad procedente de la segunda operación está en espera un tiempo cada vez mayor, antes de entrar en la tercera.

La tercera operación, con su ciclo de 70 segundos, se desarrolla sin más problemas, ya que siempre tiene material disponible procedente de la segunda operación, que da lugar así a una unidad de producto acabado cada 70 segundos, una vez que la primera unidad ha acabado el proceso completo a los 135 segundos (mostrado, una vez más, en la escala de tiempos), resultado de los $40 + 25 + 70$ segundos de las tres operaciones.

Si quisieramos obtener el *lead time* de un lote de producción dado, por ejemplo 1.000 unidades, podríamos utilizar la información que acabamos de obtener (la primera unidad tarda 135 segundos en terminar y, las demás, se obtienen a razón de 70 segundos cada una, el tiempo de la operación condicionante). Con ello el *lead time* total será de:

$$LT = 135 + 70 \times (1.000-1) = 70.065 \text{ segundos} = 19,5 \text{ horas}$$

Naturalmente, en un diagrama OT con una escala de tiempos lo suficientemente larga, podríamos conocer este resultado sin llevar a cabo cálculo alguno, observando en la escala en qué momento concluye el final del último lote de transferencia de la última operación.

Hasta aquí hemos realizado una primera posibilidad de diseño e implantación del proceso: en flujo, unidad a unidad, pero sin actuar sobre los tiempos de proceso distintos de las diferentes operaciones. Esto no es admisible, ni para los diseños con enfoque convencional (que, en aras de la productividad, no admitirían tiempos de paro), ni para los más avanzados, sobre todo los sistemas *lean* (que no admitirían los desperdicios en stock y

esperas que indica el diagrama).

Veamos pues cómo enfocar el diseño superando los aspectos mejorables. Ante todo, veremos cómo lo haría un sistema convencional de producción en masa. En efecto, las operaciones se independizarían, como ya hemos comentado en repetidas ocasiones, de forma que cada una tuviera, para operar, no una unidad, sino un lote de transferencia lo más grande posible y, evitar así, que los puestos deban esperar que lleguen nuevas unidades del puesto anterior. La figura 7.3 representa este planteamiento para el caso-ejemplo que estamos utilizando.

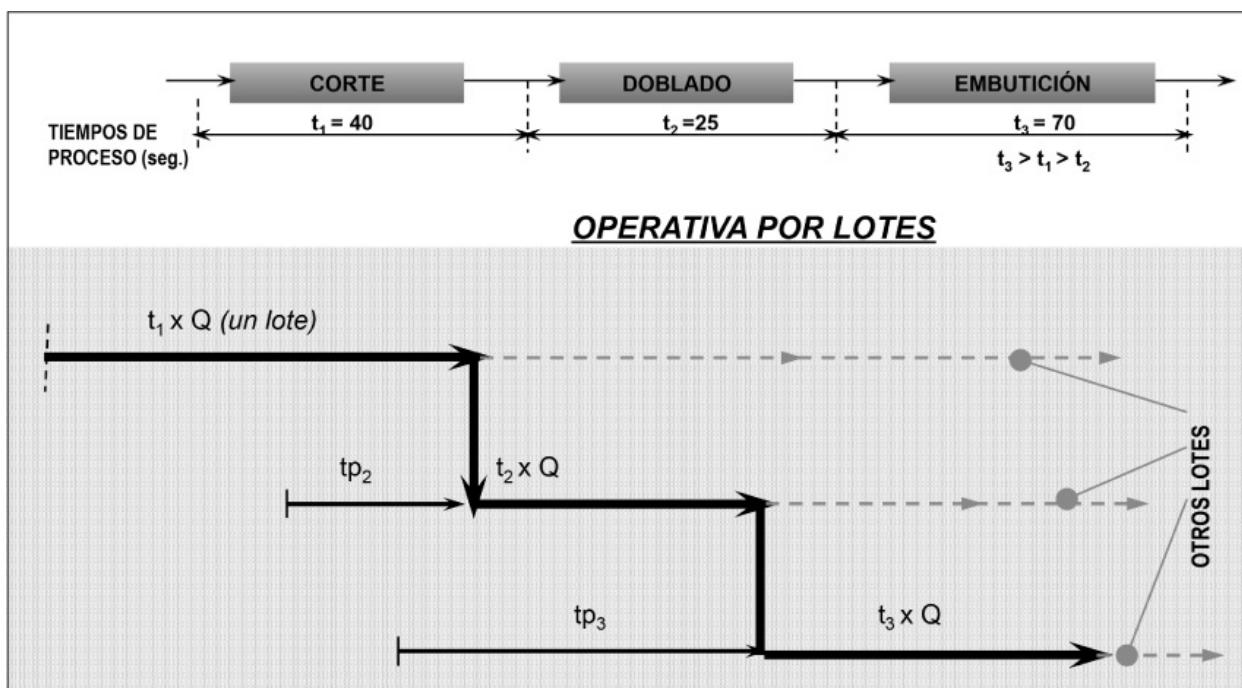


Figura 7.3. Diseño e implantación del proceso por operaciones independientes y lotes.

El proceso de un lote, las 1.000 unidades consideradas anteriormente, podría realizarse íntegramente en cada una de las tres operaciones, antes de ser transferido el lote a la siguiente operación. En este caso, el tiempo de proceso del lote en cada operación sería el de una unidad multiplicada por el tamaño del lote, y el tiempo total del proceso completo, la suma de los tiempos de sus operaciones, es decir:

$$\begin{aligned}
 LT &= 40 \times 1.000 + 25 \times 1.000 + 70 \times 1.000 = (40 + 25 + 70) \times 1.000 = \\
 &= 135.000 \text{ segundos} = 37,5 \text{ horas}
 \end{aligned}$$

Casi el doble de lo que se tardaba antes, pese a que ahora ningún puesto está parado en ningún momento.

Obsérvese, pues, que una implantación de procesos de corte convencional siempre preferirá la capacidad productiva a la entrega rápida; el stock acumulado que genera este planteamiento tampoco preocupa a esta forma de pensar, ya que, disponiendo de materiales, las operaciones tendrán menos probabilidades de parar y, por tanto, no quedará mermada la productividad.

En efecto, la implantación convencional de producción en masa alcanza su eficiencia a golpe de capacidad de producción y poco más. En el siglo XX, en el que este tipo de diseño fue ampliamente utilizado, la productividad se convirtió en una verdadera obsesión. Los nuevos sistemas de gestión, que dan lugar a nuevos diseños de procesos, tienen otras prioridades (*lead time*, stocks, calidad, eliminación de desperdicios y flexibilidad, entre otros) más allá de la capacidad de producción.

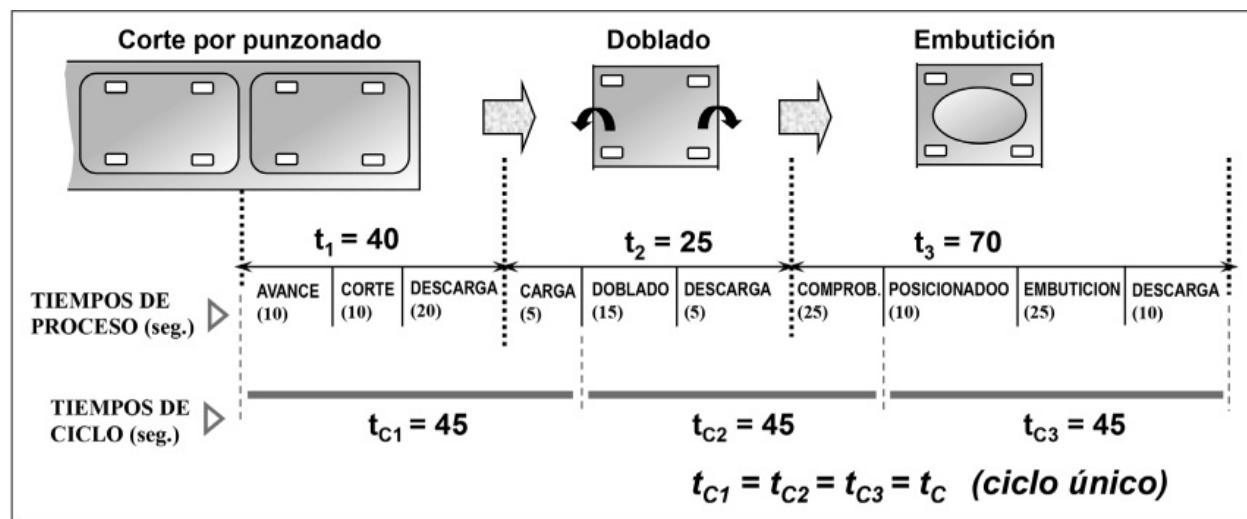


Figura 7.4. Descomposición de las operaciones del proceso en actividades elementales.

Pero ¿cómo es posible que hayamos mejorado la productividad y, en cambio, haya aumentado y mucho el tiempo de entrega? Efectivamente se puede ser más productivo y lento a la vez, ya que la productividad se refiere a los puestos de trabajo —que no paran— y el tiempo de entrega depende del producto —que está parado (i.e., en contenedores)— mucho más tiempo que avanzando. Así, un lote de mil unidades estará mil veces más tiempo en una operación que uno de una sola unidad, aunque el puesto de trabajo no pare.

Veamos ahora cuál sería el enfoque mediante la gestión *lean* y aplíquemosla

a nuestro caso-ejemplo. Ahora mantendremos la producción en flujo, unidad a unidad, como en el primer caso, pero trataremos de eliminar el desequilibrio de tiempos que existía entonces, cambiando justamente lo que en el enfoque convencional no hemos cambiado.

La figura 7.4 muestra cómo procederemos, para ello, a descomponer las operaciones del proceso en sus actividades elementales a fin de distribuir la carga de las mismas de forma equilibrada, para lo que distribuiremos las actividades entre los puestos, prescindiendo de las especializaciones de dichos puestos y, por tanto, admitiendo la polivalencia en la capacitación del personal.

Solo acercando las operaciones y sus puestos, junto con una formación polivalente, permitirá mover recursos en la línea y equilibrar así el proceso.

En efecto, podemos observar en la figura que el corte se compone del avance del fleje hasta la posición de corte (10 s), el corte en máquina (10 s) y la descarga de la pieza cortada (20 s), que, en conjunto, suman los 40 segundos de la operación de punzonado. De la misma forma descomponemos el doblado y también la embutición en sus actividades elementales, tal como consta en la figura.

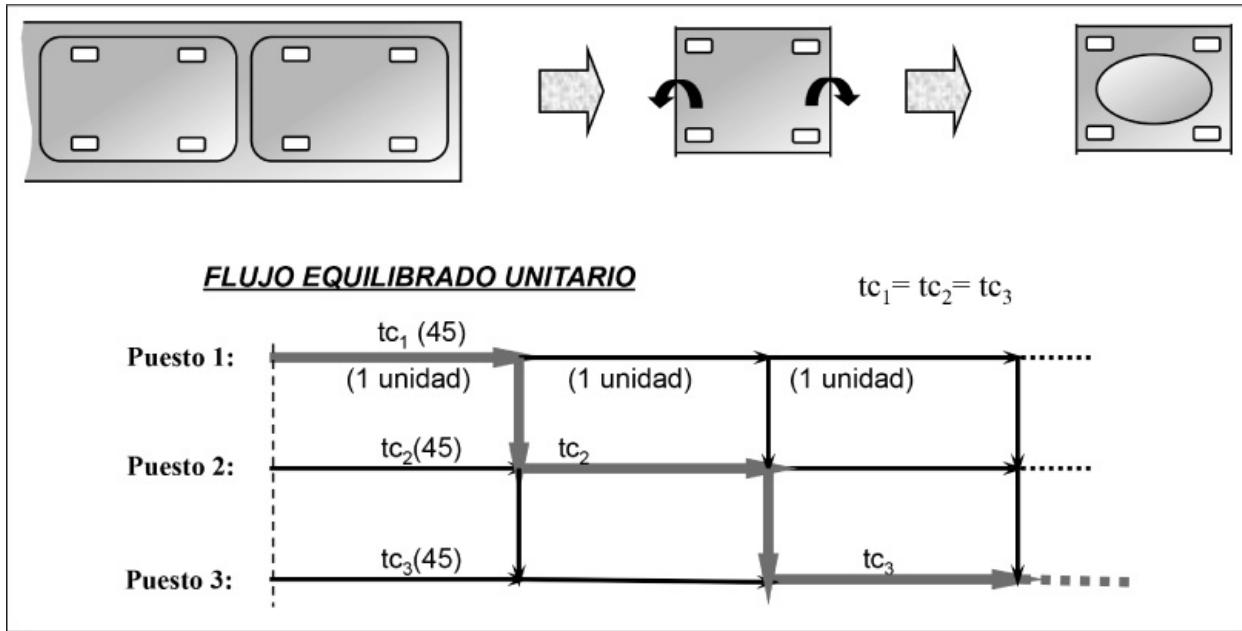


Figura 7.5. Diagrama OT de una implantación *lean*, en flujo y equilibrada.

Ahora se tratará de redistribuir estas actividades elementales entre los tres puestos, intentando acercarse al máximo al equilibrio de cargas de trabajo entre

los puestos. Así, en el caso que nos ocupa, hemos asignado las actividades que siguen a los nuevos puestos:

- **Operario 1:** Avance + corte + descarga + carga en dobladora, que suponen un total de 45 segundos.
- **Operario 2:** Operación de doblado + descarga + comprobación de calidad, que también suman 45 segundos.
- **Operario 3:** Posicionado en la prensa de embutición + operación de embutición + descarga, que nuevamente suman 45 segundos.

Se han equilibrado las cargas de trabajo de los nuevos puestos de una forma total, aunque, normalmente, no va a ser así. Ya nos ocuparemos de ello más adelante.

Volviendo ahora a realizar el diagrama OT para la implantación con enfoque *lean* realizada y, por tanto, en flujo, unidad a unidad, se obtiene lo que se observa en la figura 7.5. Podemos comprobar que ya no hay ni tiempos de vacío ni acumulación de stocks; cada puesto de trabajo cede el producto al siguiente, justo cuando recibe la unidad que sigue del anterior (en línea con la filosofía *Just in Time*). El tiempo de proceso para un lote de 1.000 unidades será ahora:

$$135 \text{ (1ª ud.)} + 45 \text{ (ciclo/ud.)} \times 999 \text{ (uds. restantes)} = 45.090 \text{ s} = 12,5 \text{ horas}$$

Cantidad muy inferior a la de los casos anteriores y ¡casi la tercera parte que con la operativa por lotes! Y, sin embargo, la productividad también se ha elevado al máximo, ya que ahora tampoco para ningún puesto de trabajo.

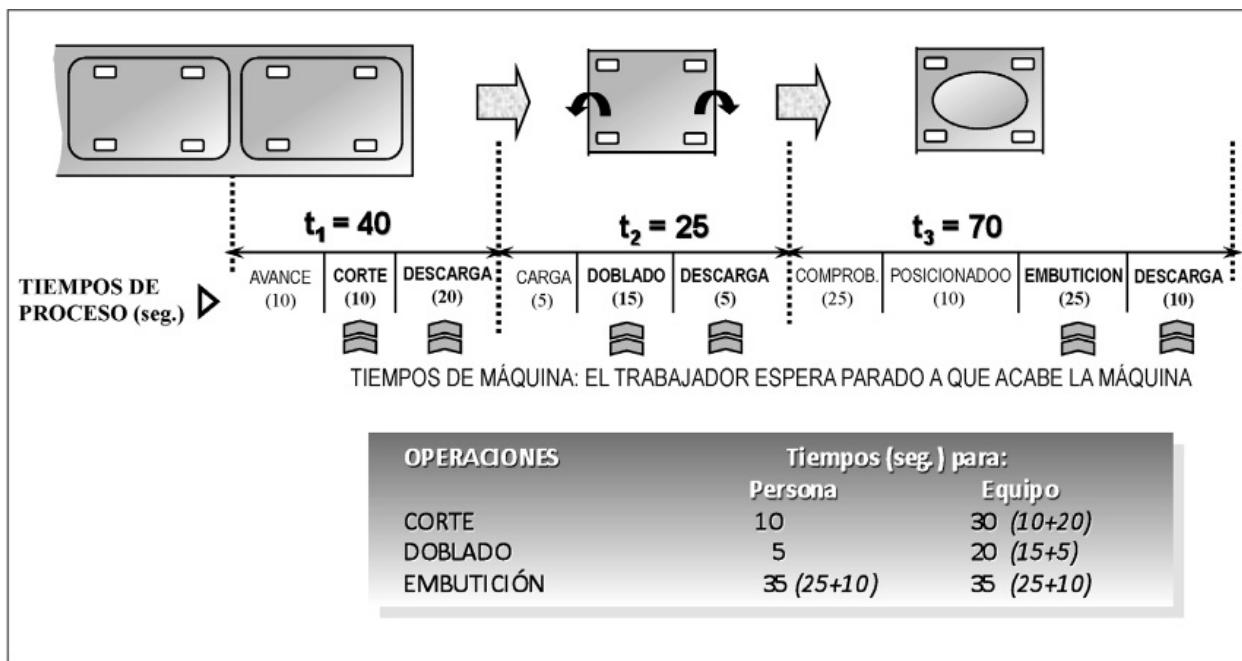


Figura 7.6. Identificación de las actividades del proceso efectuadas por el trabajador y por la máquina.

Así pues, se han logrado simultáneamente todos los objetivos: productividad, rapidez y eliminación de stock (el diagrama OT indica claramente que ni las personas ni el material están parados un solo momento en ningún puesto).

7.2. Actividades con ciclo de trabajo y con ciclo de máquina. Puestos de trabajo multitarea

El diseño que acabamos de plantear, acorde con la gestión *lean*, parece que alcanza ya la perfección y evita cualquier desperdicio, además de mejorar todas las métricas clave del sistema productivo. Sin embargo, quedan aún aspectos importantes a tener en cuenta para completar el diseño y hacerlo realmente eficiente.

Para comprenderlo observemos, en la figura 7.6, las tareas que componen el proceso definidas en la figura 7.4, pero distinguiendo quién es el agente ejecutor de las mismas: el trabajador o una máquina o equipamiento de producción.

Las actividades efectuadas por la máquina son las que reciben una flecha a partir del rótulo «Tiempos de máquina: el trabajador espera parado a que acabe la máquina». Hemos elegido como tales las que, en general, el *lean management* aconseja automatizar de forma preferente: la descarga de producto (la carga de producto y la transferencia de éste entre operaciones es vista con muchas precauciones por la gestión *lean*, ya que se considera que puede comprometer la flexibilidad del sistema) y, por supuesto también, la operativa de la propia máquina sin la presencia del trabajador.

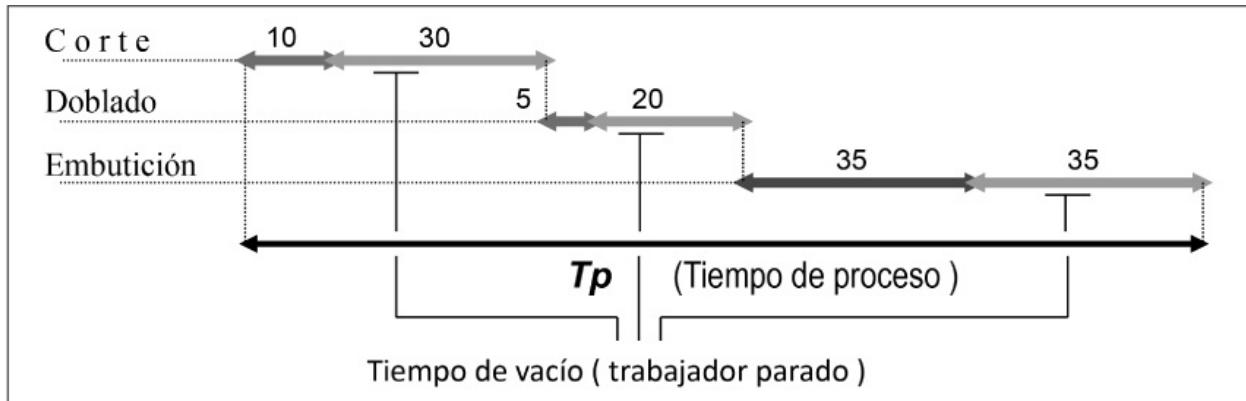


Figura 7.7. Diagrama OT del proceso, distinguiendo tiempos de trabajador y de máquina.

La cuestión ahora es que durante los tiempos en que actúa la máquina, el trabajador se halla parado, sin hacer nada (dedicarse, por ejemplo, a *vigilar* la máquina no supone actividad con valor añadido alguno y sería, igualmente, un desperdicio). La tabla que acompaña la figura 7.6 nos da el total de tiempos de trabajador y máquina para cada una de las tres operaciones. Podemos constatar que, en total, hay 85 segundos de máquina, de los 135 del proceso completo, por lo que el trabajador no actúa durante más de la mitad del tiempo total del proceso. La figura 7.7 lo señala en un diagrama OT.

Está claro que deberá evitarse que el trabajador tenga que esperar a que la máquina acabe, y una forma de hacerlo es que, mientras la máquina opere, él se dedique a otra tarea y regrese a la máquina cuando ésta termine. La figura 7.8 lo muestra sobre un diagrama OT: el trabajador dedica un tiempo TP1 a una operación que, luego, se somete a un tiempo de máquina TE1. A continuación, el trabajador, para no quedarse parado, dedica su actividad a una segunda operación, durante un tiempo TP2, tras el cual puede venir otro de máquina TE2, durante el que el trabajador puede efectuar otra tarea manual

TE3 y así sucesivamente. Al concluir esta última tarea, la primera máquina ha terminado (TE1 termina en un momento anterior del tiempo que TP3), por lo que el trabajador podría volver a la primera operación y ocuparse de ella, sin esperar. Este tipo de planteamiento implicará que el puesto de trabajo sea de tipo *multitarea*, ya que cada trabajador asumirá varias tareas, lo que puede incluir varias máquinas.

Veamos ahora cómo podemos aplicar esta solución al diseño de procesos, con tiempos de máquina en los que el trabajador está desocupado. Ante todo dejemos claro dos aspectos:

1. En general, hablaremos de tiempos de máquina para referirnos a aquellos en los que el proceso avanza SIN intervención del trabajador, pero no siempre será por causa de la actividad en una máquina. Por ejemplo, un tiempo de secado de la cola aplicada en una actividad de trabajador, que exija una espera antes de poder continuar con el proceso, mantendría al trabajador parado igualmente, como si se tratara de un tiempo de máquina, y tendrá la misma consideración que si lo fuera.
2. La nueva etapa del diseño de procesos que abordaremos ahora habrá que hacerlo sea cual sea el enfoque de gestión de acuerdo con el que se esté diseñando. En efecto, si bien un trabajador parado supone un despilfarro desde la óptica *lean*, desde la óptica tradicional —muy centrada en elevar la productividad de cada puesto al máximo— no es aceptable tampoco debido a que exige paros en el puesto de trabajo, lo que afecta a su productividad.

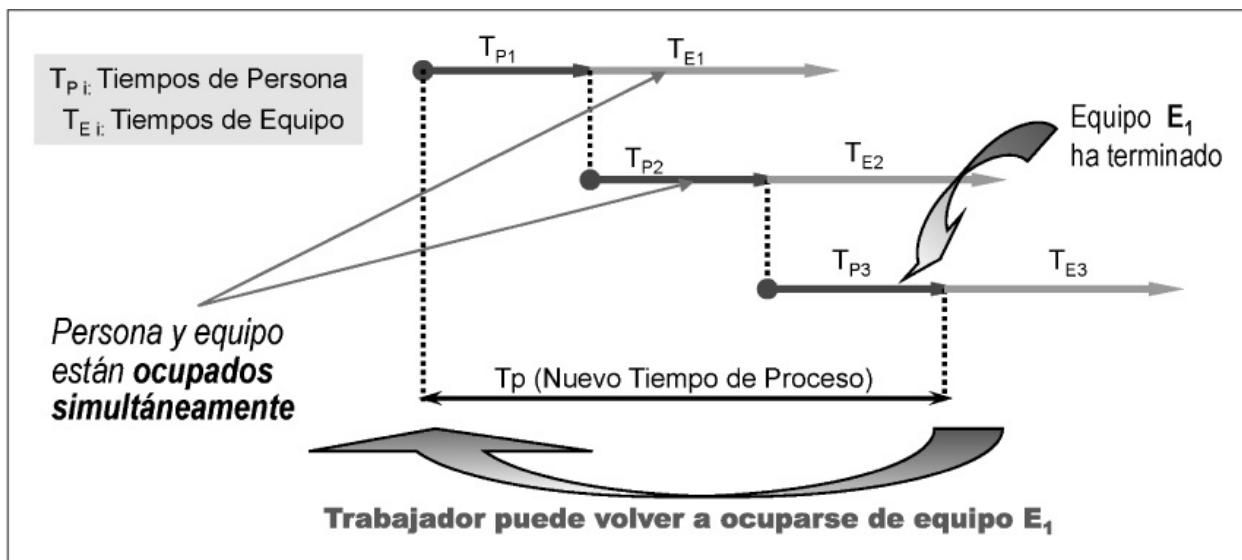


Figura 7.8. Diagrama OT con un trabajador ocupándose de varias operaciones (y sus máquinas).

Aclarado esto, vamos a centrarnos en el diseño de los procesos, en el que se distingue entre el tiempo de trabajador y el de máquinas, con soluciones en la línea de la mostrada en la figura 7.8. No resultará extraño al lector, a estas alturas, que la solución sea distinta para los dos grandes tipos de enfoque: el tradicional y el basado en la gestión *lean*. A continuación vamos a ocuparnos de ambas.

DISPOSICIÓN ESPECIALIZADA (ADECUADA A DISEÑOS TRADICIONALES):
 Con este planteamiento se asigna a un trabajador otra máquina, cuando no ha de ocuparse de la que está operando, pero del mismo tipo que ésta, para aprovechar la especialización del trabajador (véase figura 7.9, izquierda). Pueden disponerse las máquinas alrededor del trabajador, como en la figura 7.10, que dará lugar al diseño denominado *jaula de pájaro*. El número de máquinas iguales de cada puesto es el que se puede ver en la figura, que luego justificaremos.

Este tipo de diseño se ajusta realmente a la gestión convencional de producción en masa, por cuanto cumple a la perfección los cuatro criterios siguientes:

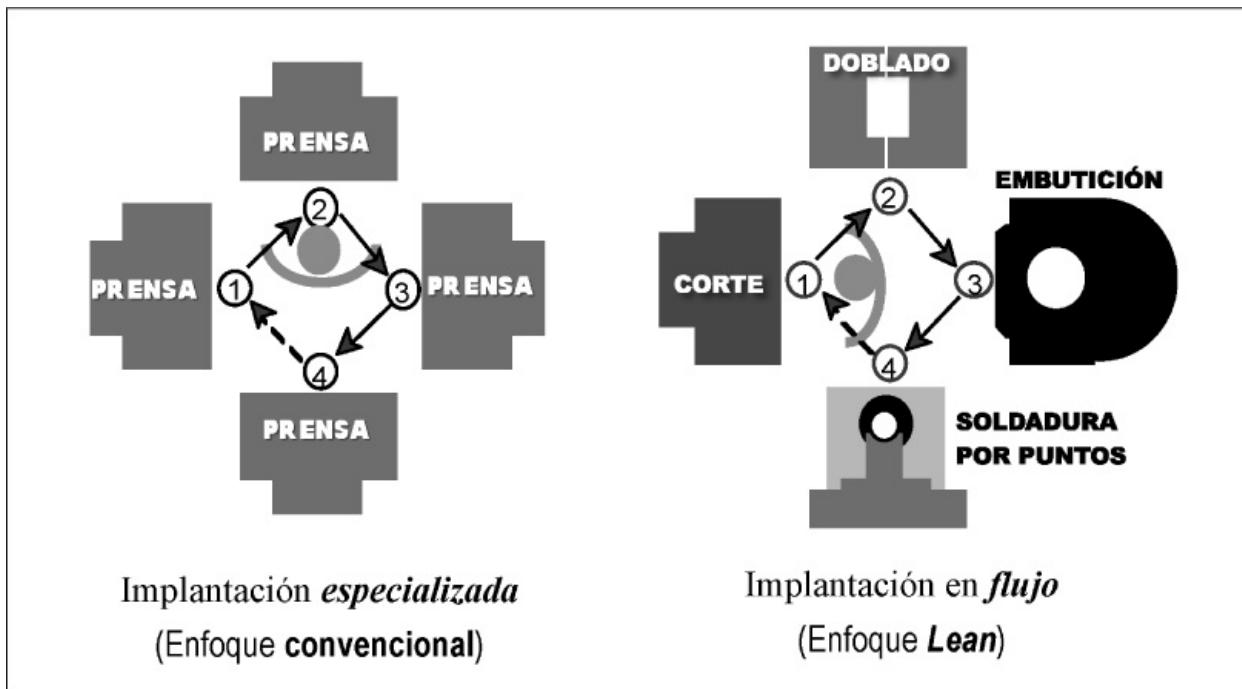


Figura 7.9. Variantes de diseño con tiempos de máquina.

1. Opera con **personal especializado** en un determinado tipo de máquina u operación.
2. La **implantación** física de los procesos es de tipo **funcional** (agrupación de operaciones y sus máquinas por su tipología), tan arraigada a la producción en talleres.
3. La **productividad** aumenta al máximo, como se pretendía (ahora ningún trabajador está parado), pero esto se ha logrado a costa de **aumentar la producción**. Así, por ejemplo, el trabajador que antes llevaba una prensa de embutición, ahora lleva dos y hace el doble de producción en el mismo tiempo, él solo. ¿Qué empresario se resistiría a ello? Con los mismos recursos humanos, se dobla la producción. Recuerde esto el lector, cuando digamos que la gestión *lean* a menudo va contra el sentido común. En cualquier caso, el operario de la prensa ha aumentado su productividad incrementando su producción.
4. La productividad se maximiza por operaciones, una a una, lo que obliga a **sacrificar el equilibrado**, ya que unas máquinas van más rápidas que otras (luego nos ocuparemos de las cifras concretas). Justo lo que ocurre en el mundo de la producción tradicional.

Obviamente, este tipo de diseño e implantación de procesos tiene sus ventajas, de la misma forma que tiene sus inconvenientes, de modo que el enfoque tradicional de producción en masa valora más las ventajas que los inconvenientes. La producción *lean* haría justo lo contrario (lógico ¿no?). Veamos:

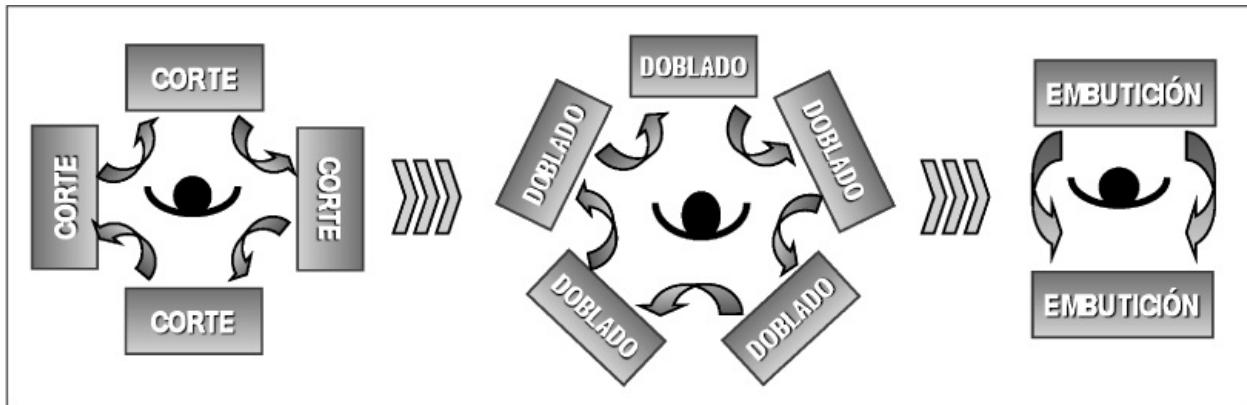


Figura 7.10. Agrupaciones en jaula de pájaro del proceso de la tapa removible.

Ventajas:

- Máximo aprovechamiento de la capacidad de cada puesto
- Productividad maximizada puesto a puesto
- Producción asimismo maximizada

Inconvenientes:

- Ejecución de tareas por lotes, normalmente grandes
- Plazos de ejecución muy largos (por operar en lotes y esperar)
- Equilibrado imposibilitado
- Stocks en proceso muy elevados (por lotes y desequilibrio)

Vamos ahora a calcular, con la ayuda del diagrama OT, el número de máquinas y el ciclo de trabajo de cada puesto. La figura 7.11 permite averiguarlo.

Ante todo observemos que nos vemos abocados a efectuar un diagrama para cada operación con un trabajador y varias máquinas del mismo tipo, ya que cada una operará de forma independiente, de acuerdo con la filosofía tradicional.

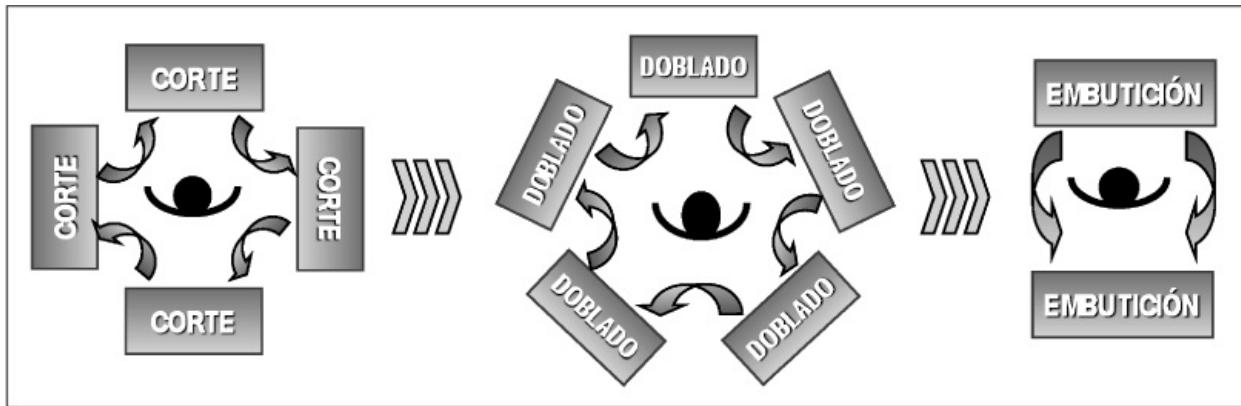


Figura 7.11. Diagramas OT de las operaciones del proceso con diseño en jaula de pájaro.

Con los datos de la tabla de tiempos de trabajador y máquina que se obtuvo en la figura 7.6 podemos construir el diagrama OT de cada operación. Así, el primer diagrama corresponde a la operación de corte, con 10 segundos de tiempo manual y 30 de máquina, lo que da tiempo al trabajador de ocuparse de otras tres máquinas (cuatro en total) antes de que la primera máquina termine su trabajo. Este total de cuatro máquinas es el que había, para la operación de corte, en la figura 7.10. Podemos observar, además, que esta operación de corte tiene un ciclo total de 40 segundos, del que se obtienen cuatro piezas, es decir, un ciclo medio de diez segundos por pieza, el del trabajador que, ahora, ya no para. De la misma forma, la figura 7.11 construye también los diagramas OT de las demás operaciones, y obtiene el número de máquinas que lleva cada trabajador (que coincidirá con el que había en la figura 7.10) y su ciclo de trabajo, distinto para cada puesto, que dará lugar al desequilibrio al que nos hemos referido anteriormente.

DISPOSICIÓN EN FLUJO (ADECUADA PARA EL *LEAN MANUFACTURING*):

La otra opción para resolver el problema de los tiempos de espera del trabajador mientras opera la máquina consiste en poner a disposición del trabajador varias actividades que componen el flujo del proceso, en la misma secuencia que en éste. Dispuestas alrededor del trabajador, darán lugar a la disposición conocida como *isla* (figura 7.9, derecha).

Evidentemente, se trata de un enfoque alternativo al anterior y está orientado al proceso y no a las operaciones, de forma que un mismo trabajador llevará varias operaciones (con o sin máquinas), pero del mismo proceso. Por ello, es el diseño indicado para las implantaciones en flujo y sobre todo con

enfoque de producción *lean* o *ajustada*.

El diagrama OT de este enfoque es el que muestra la figura 7.12. Un solo operario se ocupa de varias operaciones distintas de un mismo proceso, lo que exige trabajadores *polivalentes* y *multitarea*, pero la gestión quedará enfocada al proceso y no a las operaciones y, desde luego, no se duplicarán o triplicarán máquinas iguales.

Ahora, un solo operario llevará varias operaciones del mismo proceso y tampoco deberá esperar a que las máquinas o equipos terminen, sino que se ocupará de la operación siguiente. El trabajador ya no tiene tiempos de espera, pero ello no ha exigido producir más que antes, ya que sigue habiendo solo una máquina de cada tipo. Por otra parte, el enfoque a proceso permite que haya un solo diagrama OT: el del proceso y no uno para cada operación, como antes. Así pues, los cuatro criterios de la implantación especializada de antes ahora se han convertido en los criterios opuestos y muy ajustados a los requerimientos del *lean management*. Éstos son:

1. Trabajadores con formación polivalente
2. Implantación física en flujo

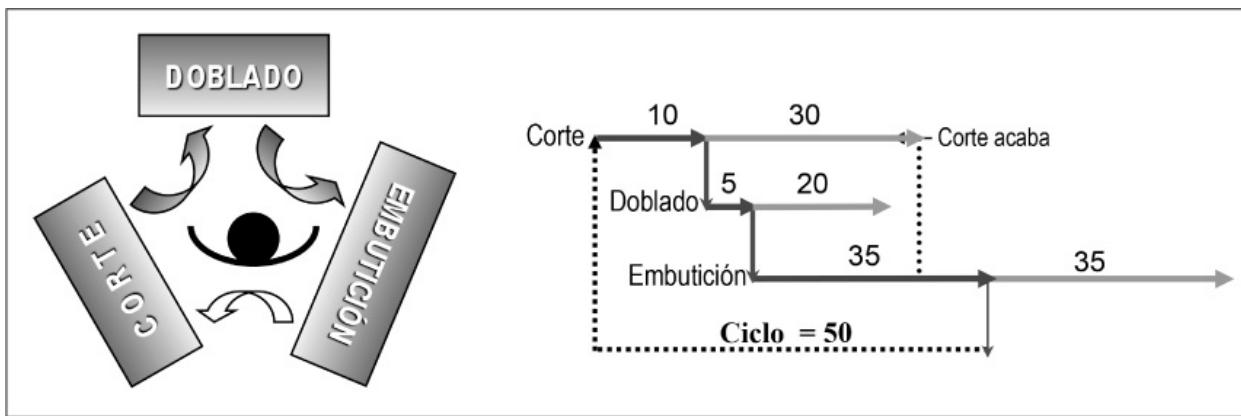


Figura 7.12. Implantación y diagrama OT de procesos en flujo con disposición tipo isla.

3. Aumento de la productividad sin aumentar la producción (que debe ser la planificada, los aumentos *gratuitos* no convienen, ya que generan stock)
4. Equilibrado absoluto a lo largo del flujo, ya que el trabajador lleva físicamente el producto de una operación a la siguiente y, esto, lo realiza un número de veces al día que es el mismo para todas las

operaciones del proceso. En definitiva, en un ciclo de 50 segundos se lleva a cabo el proceso completo, del que se obtiene una unidad de producto en cada operación, lo que asegura el mencionado equilibrado.

La misma figura indica, sin embargo, que el ciclo completo puede requerir un último reajuste. En efecto, cuando el trabajador termina la tercera operación (embutición), puede volver sin problemas a la primera —el diagrama OT muestra que la máquina de corte ha terminado—, pero esto no significa que, al llegar a la segunda o a la tercera, no encuentre la máquina operando todavía (en nuestro ejemplo, puede ocurrir en la tercera). En tal caso habrá que asignar una nueva tarea al trabajador para que llegue algo más tarde a dicha operación.

De todas maneras, esta implantación, que permite llegar a un nivel de eficiencia muy elevado, presenta un inconveniente: cuando hay varios puestos de trabajo tipo isla en un proceso, la coordinación entre ellos no es fácil y se producirá una desconexión, al tratarse de islas. Veremos a continuación cómo puede resolverse éste y otros aspectos necesarios para lograr un elevado nivel de eficiencia y flexibilidad.

7.3. Diseño de procesos altamente eficientes y flexibles. La ingeniería de procesos *lean*: células flexibles en U

La disposición de cada puesto de trabajo en islas puede dar lugar a un proceso compuesto por varias de ellas, adecuadamente enlazadas y coordinadas, al abrir la isla y transformarla en una U, de forma que el enlace y la transferencia de materiales entre puestos de este tipo sea más fácil (figura 7.13).

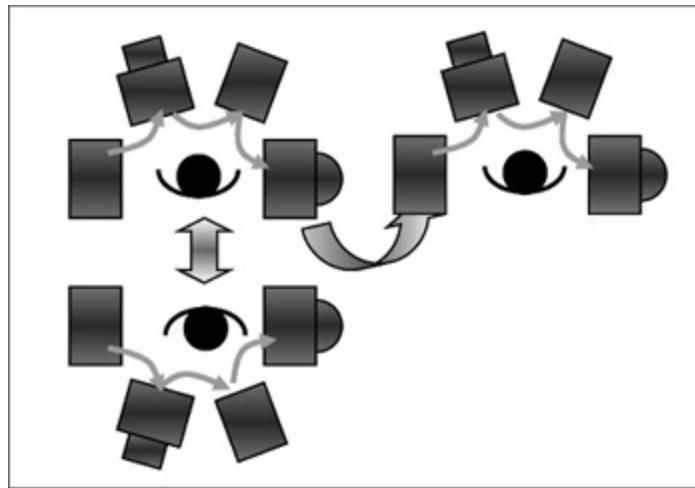


Figura 7.13. Procesos en flujo con implantación en «U».

La implantación de los procesos en flujo, en forma de U (o S o L, entre otras), da lugar a las denominadas *células flexibles*. Con ellas se logra, en efecto, un adecuado enlace entre operaciones y puestos de trabajo y, por tanto, una coordinación, equilibrado y operativa sin stocks, extendida a todo el proceso, disponiendo las U con sus extremos cercanos o con la parte abierta de las mismas, encaradas entre sí, tal y como muestra la figura 7.13 ya mencionada.

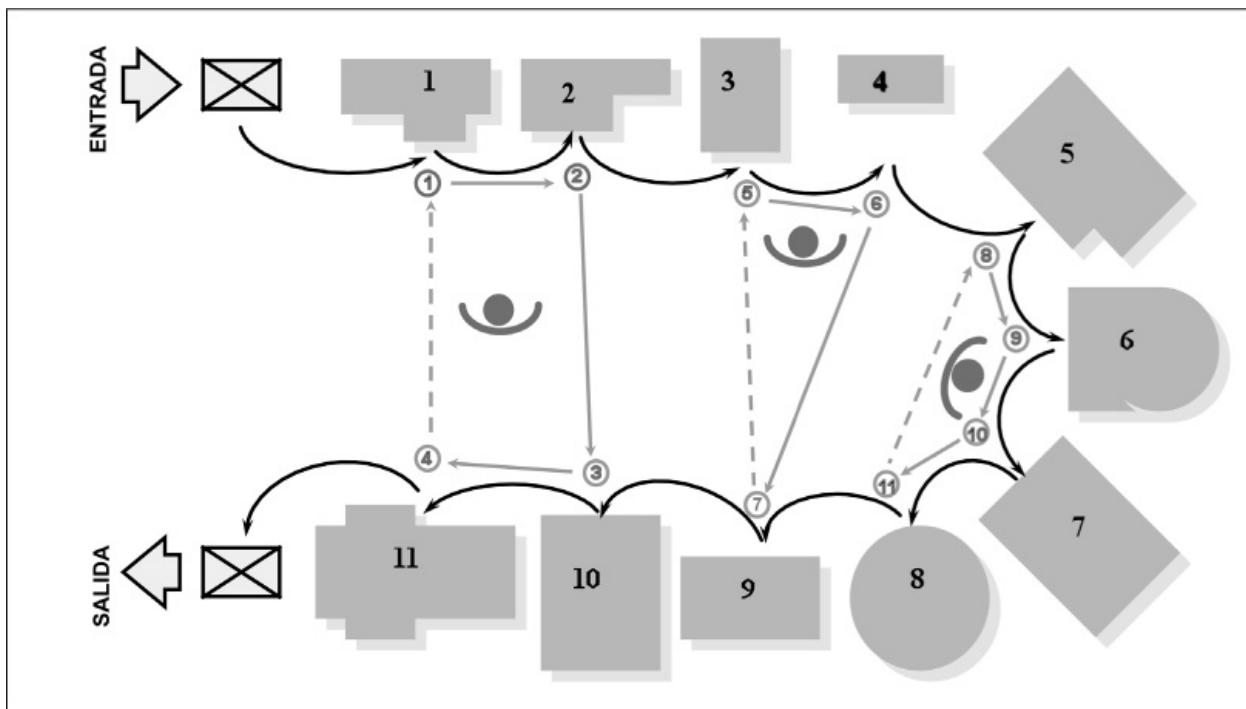


Figura. 7.14. Línea en «U» que contiene todas las operaciones de un proceso (en este caso con tres puestos de trabajo).

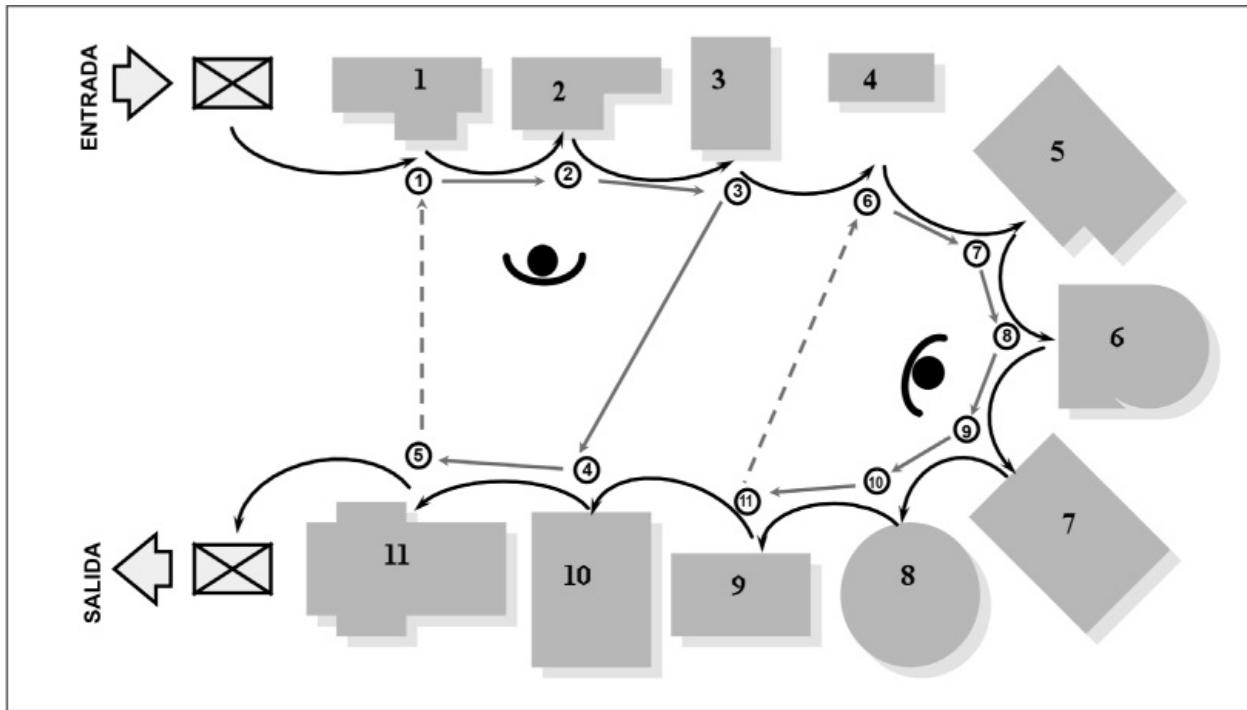


Figura 7.15. Célula flexible con dos trabajadores para todas las tareas.

Sin embargo, la implantación que más facilita la eficiencia y sobre todo la flexibilidad —el gran objetivo de las células que por esto se denominan *flexibles*— es el flujo en U con el proceso completo en su interior, con todos sus puestos de trabajo (figura 7.14, con las tareas de cada trabajador alrededor de él). En efecto, tal y como expondremos, la flexibilidad exigirá que pueda asignarse a los trabajadores un número de tareas variable, lo que, con puestos de trabajo integrados en una U cada uno, no es fácil de llevar a cabo.

Así, la figura 7.15 presenta la misma célula que la 7.14, pero distribuyendo las tareas del proceso entre dos puestos, en lugar de tres; obsérvese que no ha habido necesidad de cambiar nada relacionado con el diseño de la célula, simplemente, cada trabajador abarca más tareas de entre las que se hallan a su alrededor y aumenta así su tiempo de ciclo de trabajo.

Las figuras 7.14 y 7.15 indican la disposición más eficiente y flexible que existe en la actualidad, el diseño propio del *lean manufacturing*.

Un aspecto muy importante de la distribución en U es que la entrada y salida de la línea se hallan a la misma altura, con posibilidad de ser controladas simultáneamente, lo que asegurará el equilibrado de flujos de la línea y, también, facilitará que un trabajador pueda hacerse cargo de la primera y la última tarea del proceso (como en las figuras 7.14 y 7.15), sin desperdicios en

movimientos. La flexibilidad para asignar más o menos máquinas/equipos productivos a un trabajador está asegurada con esta disposición.

AJUSTE DE LA DISTRIBUCIÓN EN «U» A LOS OBJETIVOS DE LA GESTIÓN LEAN

FLEXIBILIDAD

La **distribución en U** permite una rápida y fácil adaptación de la producción a **volúmenes y modelos** de producto distintos. **Introduciendo o removiendo trabajadores** de la línea puede adaptarse la producción al **tiempo de ciclo** requerido para ella.

De haber **dificultades** para la **asignación de tareas**, puede emplearse el método **Nagare** o **Rabbit run**. Con él, la **flexibilidad se facilita aún más**, pues no hay que reasignar el personal a cada cambio.

DESPILFARROS ELIMINADOS

- **TRANSPORTES**: Minimizados por **flujo lineal** con operaciones/máquinas **muy cercanas** entre sí.
- **MOVIMIENTOS**: Minimizados por asignación de **tareas a trabajadores**, situadas **alrededor** de los mismos
- **MOVIMIENTOS**: Minimizados por la disposición en «U» con la **entrada al mismo nivel** que la **salida**
- **ESPERAS DE MATERIALES Y TRABAJADORES**: Eliminadas por **equilibrado del ciclo** de cada puesto.
- **STOCK**: Eliminado el **WIP** por el **equilibrado del ciclo** de los puestos de trabajo.
- **STOCK**: Eliminado **stock** de materiales y WIP de los **lotes de transferencia**, por operar en **flujo ud. a ud.**
- **PROCESO**: La implantación en **flujo lineal**, elimina muchas **actividades NVA** (manipulaciones, etc.).
- **CALIDAD**: La implantación en **flujo ud. a ud.** **facilita** el control de calidad de cada unidad en cada puesto
- **CALIDAD**: La disposición en «U» con la **entrada al mismo nivel** que la **salida**, facilita el control de calidad
- **SOBREPRODUCCIÓN**: Operando en modo *pull* la evitaremos

Figura 7.16. Eliminación de despilfarros y flexibilidad en las células flexibles.



Figura 7.17. Conjunto de células flexibles para la producción de circuitos impresos.

Por otra parte, podemos observar en las células de las citadas figuras que la ruta del producto (operaciones o máquinas de la 1 a la 11) no tiene por qué coincidir con la de un trabajador dado, denominada *ruta de operaciones* (que también tienen su propia numeración en la figura).

La figura 7.16 expone un cuadro resumen de las características de las *células flexibles*, que las convierten en el diseño por excelencia para el *lean manufacturing*, características en las que insistimos mucho en el capítulo destinado a este enfoque de gestión: eliminación de desperdicios y flexibilidad. En relación con la flexibilidad, se proponen soluciones que la mejoran aún más, como el *nagare*, que expondremos más adelante, en relación con el diseño de sistemas *lean*.

La figura 7.17 representa un ejemplo de célula flexible de fabricación, y la figura 7.18, una célula flexible de ensamblaje, que hemos acompañado del

diseño de la misma.

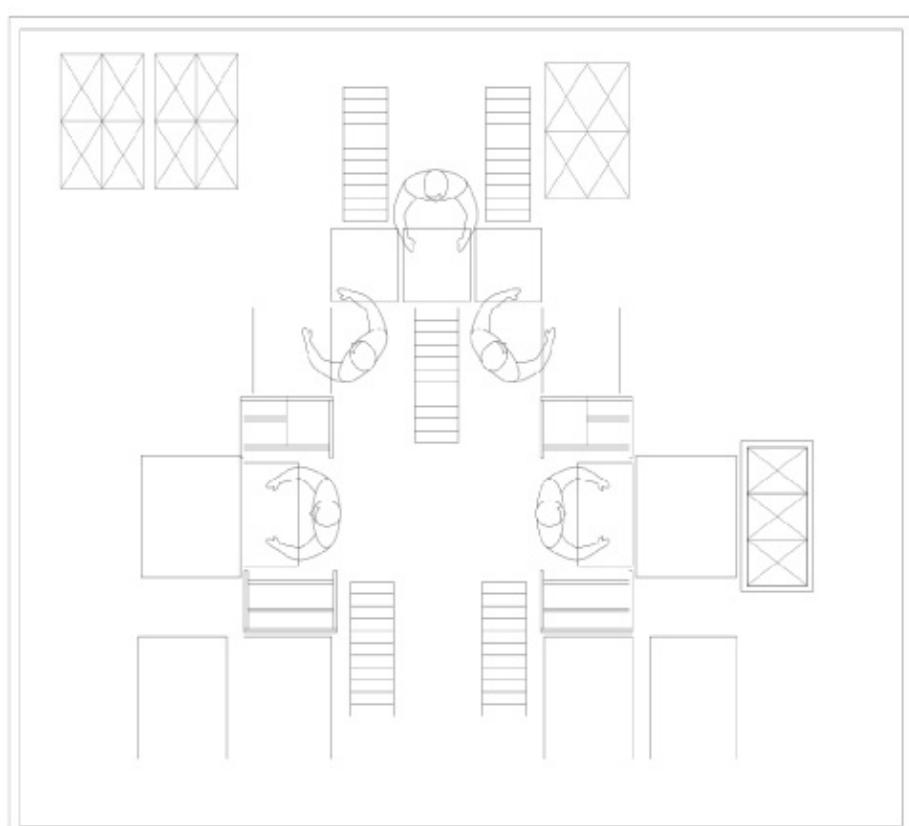


Figura 7.18. Célula flexible de ensamblaje, acompañada de su diseño.

Finalmente, la figura 7.19 muestra una ilustración de un conjunto de dos células enlazadas en flujo directo para la producción de circuitos impresos, con cuatro puestos de trabajo, que pueden ser uno (para todo el conjunto), o dos (uno en cada célula) o tres (dos en alguna de las células).

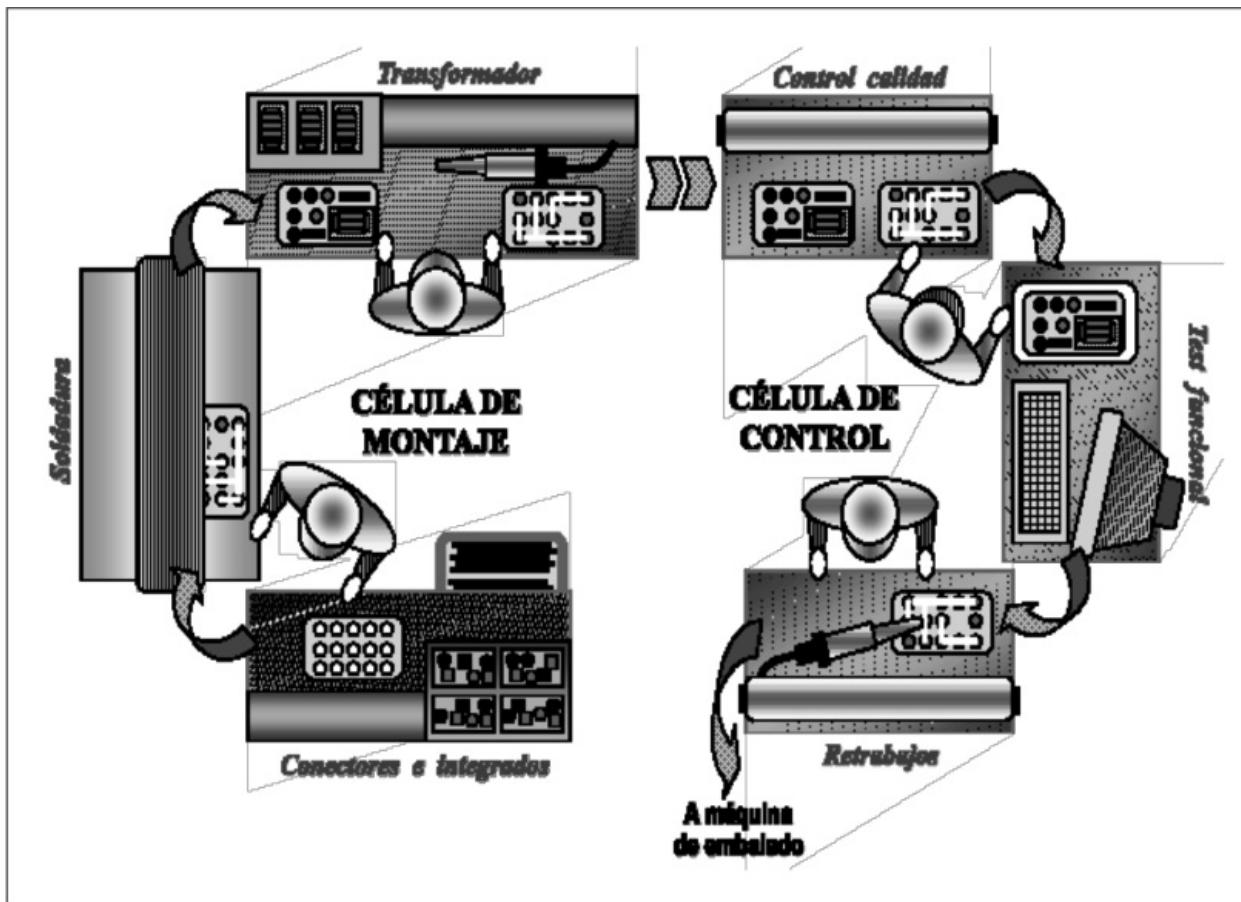


Figura 7.19. Conjunto de células flexibles para la producción de circuitos impresos.

7.4. Diseño del flujo en los procesos. Establecimiento de la secuencia de sus operaciones. Diagrama de precedencias

El flujo de un proceso responderá a la secuencia correcta de operaciones de

que se compone. Nos ocuparemos ahora de establecer dicha secuencia.

Para establecer la secuencia de operaciones que se ha de plasmar en el flujo de un proceso, utilizaremos el *diagrama de precedencias*, que permitirá obtener todas las alternativas posibles para secuenciar las operaciones. Veamos, con un caso-ejemplo, cómo construir el diagrama de precedencias y qué opciones proporciona para establecer la citada secuencia de operaciones.

La figura 7.20 destaca los componentes de un producto —un bolígrafo— a obtener en un proceso. Los componentes de dicho bolígrafo son: cuerpo de plástico cilíndrico (C), tapón superior (T), tubo recipiente de tinta (R) y dispositivo de escritura (E).

Para elaborar el diagrama de precedencias, elaboraremos la siguiente información para cada actividad del proceso:

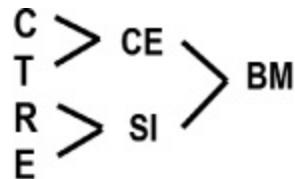


Figura 7.20. Elementos de un bolígrafo.

Componente o subconjunto	Elementos precedentes	Diagrama resultante
C	—	C
T	—	T
Cuerpo exterior (CE)	C, T	C T C > CE
R	—	R
E	—	E
Sistema escritura (SI)	R, E	R > SI E
Bolígrafo montado (BM)	C, T, R, E	C T C > CE T R R > SI E > SI CE > BM

En ella, la primera columna indica los componentes o subconjuntos a ir obteniendo en los procesos, hasta alcanzar el producto final. En nuestro caso, con C y T se elabora CE, y con R y E se elabora SI. Finalmente, a partir de los subconjuntos CE y SI, se logra por un montaje final el bolígrafo acabado BM.

Para elaborar el diagrama se dispone, en una segunda columna (elementos precedentes), la relación de los elementos que deben haberse obtenido con anterioridad para cada uno de los que componen el proceso completo (esto es la clave del diagrama de precedencias). Así, por ejemplo, C y T pueden elaborarse sin necesidad de que haya ningún otro elemento conseguido previamente; pero, en cambio, CE no puede lograrse sin haber obtenido previamente C y T.



Con estos datos, en la columna final se elabora el definitivo diagrama de precedencias. Para ello, en cada línea de la relación anterior, se añade el

elemento correspondiente a la línea, al diagrama obtenido hasta la línea precedente, situándolo correctamente. Así, en la primera línea se escribe C, sin más; en la segunda, se añade T, sin relacionarlo con C; en la tercera, se añade CE, ligándolo con C y con T, tal como corresponde. Y así sucesivamente, después de introducir el último elemento, se logra el diagrama de precedencias completo, que reproducimos a continuación:

A partir del diagrama, podremos establecer el flujo del proceso, tal y como se decida llevar a cabo. Por ejemplo, supongamos que, debido a la sencillez del producto y el pequeño número de operaciones total, se realizará la producción de bolígrafos en un único proceso y, por tanto, en un único flujo (de desarrollarse en varios procesos-flujos, éstos habrían de estar conectados entre sí).

La pregunta es ¿cuál será el flujo o secuencia de operaciones del proceso?

Como puede apreciarse, los condicionamientos para el establecimiento de un flujo correcto que ha impuesto el diagrama de precedencias no impone una única secuencia en el flujo definitivo. Así, por ejemplo, se dan –entre otras– las siguientes alternativas para el citado flujo:

C – T – R – E – CE – SI – BM
C – T – CE – R – E – SI – BM
R – E – C – T – CE – SI – BM
R – E – SI – C – T – CE – BM
.....

Es evidente que hay condicionamientos que sí deben cumplirse, como por ejemplo que BM siempre estará al final o que CE va siempre detrás de C y T y SI va detrás de R y E. Así pues, más allá de tales condicionamientos hay libertad para disponer las operaciones de los procesos en la secuencia que se considere más oportuna. Sin embargo, hay unos consejos que conviene seguir a la hora de establecer el flujo:

1. Tratar de incluir aspectos adicionales de interés, que aconsejen secuencias concretas. Por ejemplo, asegurar al máximo la calidad y, si el orden de las operaciones puede influir en ella, disponer la secuencia que implique mayor garantía de calidad. Así, en el ejemplo del bolígrafo, pueden realizarse los premontajes CE y SI inmediatamente después de lograr sus componentes (CE tras obtener C y T; SI tras

obtener R y E); sin embargo, puede ser mejor conseguir los componentes y efectuar los premontajes más adelante, así no *arrastraremos* subconjuntos ya ensamblados por el proceso, con el riesgo de que se deterioren.

2. Si hay actividades con riesgo de generar defectos de producción conviene eliminarlas tan al principio como sea posible. Así, en caso de desecharlos, se perderá el mínimo valor añadido posible.
3. En consonancia con lo anterior, las actividades con mayor aporte de valor añadido deberían llevarse a cabo cuanto más al final del proceso, mejor.
4. Introducir las operaciones de un proceso en un orden que no suponga cambios fuertes en parámetros que puedan introducir inestabilidad en el flujo y detenerlo, en la línea de lo que abordaremos en el epígrafe que sigue.
5. Elementos de trabajo necesarios (bancos, equipamiento diverso, etc.): procurar que la asignación de tareas en cada puesto de la secuencia no implique un desequilibrio excesivo en el espacio ocupado entre unas y otras.
6. Cuando el producto o sus componentes tengan un tamaño grande, podría aplicarse el criterio anterior, referido al espacio ocupado por los mismos.
7. Tener en cuenta el flujo de los materiales que aprovisionan los puestos de trabajo de la secuencia, estandarizando las rutas y prever la máxima facilidad para la entrada de materiales de gran volumen, si los hay.
8. Estandarizar el flujo para modelos o referencias de producto distintos, con posibles cambios en las operaciones de la secuencia, de forma que se evite tener que reconfigurar el *layout* cuando haya un cambio de modelo.
9. La debida conexión física entre operaciones que facilite un flujo sencillo y estable por medio de los dispositivos adecuados puede aconsejar que se dispongan determinadas operaciones en flujo directo. Es el caso de los tres puestos de trabajo de la fotografía de la figura 7.21, dispuestos de manera que aseguran un flujo rápido y directo unidad a unidad, mediante dispositivos al efecto.

En cualquier caso, la secuencia definitiva puede obtenerse —tal como se expondrá a propósito de las líneas multiproducto— por medio del método de la *gama ficticia*, en la variante que implica la existencia de relaciones de precedencia.

7.5. La ingeniería de planta y las células flexibles. Asignación de tareas a los puestos de trabajo

Como sabemos sobradamente, la implantación física de procesos *lean* pretende evitar en sus plantas los procesos por talleres, que agrupan las máquinas y puestos de trabajo del mismo tipo o especialidad. Ello es debido a la gran cantidad de despilfarros que generan. También conviene evitar, en las plantas *lean*, la distribución en cadena pura —tal como se implanta en la producción en masa tradicional, en los procesos de montaje— también por su gran inflexibilidad. Sabemos que la distribución de los procesos por talleres admite como inevitable la complejidad (*espagueti flow*, etc.) y la fabricación por lotes, lo que provoca movimientos dentro del taller, poco asumibles en una filosofía *lean*, puesto que no añaden valor al producto, más bien al contrario, añaden exclusivamente coste: largos tiempos de espera y transportes innecesarios, movimientos inútiles, gran cantidad de productos en curso, riesgo de deterioro, dificultades de planificación y control, etc. Pero, sobre todo, el mayor inconveniente es el de no facilitar el ajuste y la reprogramación de los recursos humanos para adaptarse a posibles cambios de demanda.



Figura 7.21. Establecimiento de flujo entre tres puestos.

En el epígrafe anterior se ha llegado a la disposición celular en U, como resultado de aplicar el pensamiento *lean* a los procesos productivos y, muy especialmente, para implantar la producción en flujo, exenta de desperdicios y con la flexibilidad necesaria. Recapitulando lo que conocemos hasta el momento, una célula flexible es una implantación de:

- ✓ Un proceso (de un producto o común a varios productos).
- ✓ Con disposición en flujo y secuenciación según el proceso.
- ✓ Con distribución en línea en forma de U (o variantes de la misma).
- ✓ Con flujo unitario de materiales (regular si hay balanceado de puestos).
- ✓ Con personal polivalente, multitarea y reasignable para lograr flexibilidad.
- ✓ Constituyendo un equipo autónomo con funciones indirectas (mantenimiento, calidad, etc).

La figura 7.22 presenta una disposición celular de un proceso en la que se han resaltado sus características. En ella se observa la operativa con los trabajadores de pie y moviéndose de una máquina a otra, dedicadas éstas al proceso de la célula exclusivamente, con la capacidad ajustada a la que precisa el proceso. El tiempo total de proceso por operario se ajustará a un ciclo único

que, a su vez, se ceñirá al que denominaremos *takt time* (el ritmo impuesto por la demanda).

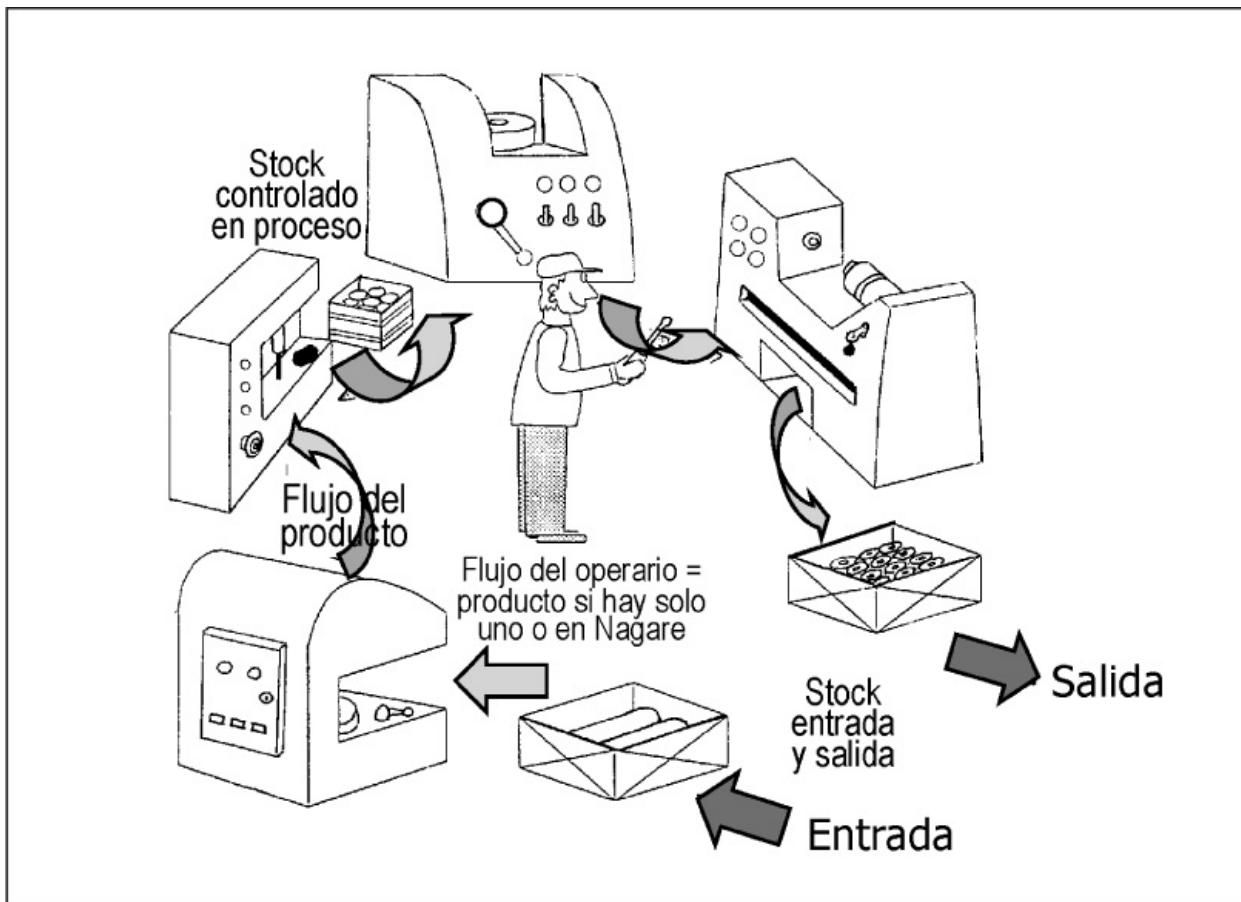


Figura 7.22. Célula flexible típica y aspectos característicos de la misma.

Según los productos y su producción a efectuar, en una célula se dispondrá:

- Una sola célula con un solo trabajador polivalente (bajo volumen de producción para la capacidad de producción de la célula).
- Se dispondrá una célula con varios trabajadores polivalentes (carga de producción adecuada a la capacidad de la célula).
- Varias células en paralelo para el mismo proceso (cuando la carga de trabajo es demasiado elevada para la capacidad de la célula).

Por lo que se refiere a los puestos de trabajo, la flexibilidad preside la forma en que se aborda desde la ingeniería de planta, que ya quedó patente en las figuras 7.14 y 7.15 que presentan la disposición del flujo de un proceso en una

célula flexible, con tres puestos de trabajo en un caso y con dos en el segundo, para ajustar el ritmo del proceso al de la demanda (más fuerte con tres puestos que con dos). Todo ello, sin olvidar que, sea cual sea la distribución de tareas entre los puestos, ha de haber un equilibrio o balanceo entre la carga de trabajo de todos ellos. Analicemos ahora las distintas posibilidades de diseño de las células a la luz de este equilibrado, sin olvidarnos de la flexibilidad.

El caso más simple es el de una célula para cada puesto de trabajo. La figura 7.23 muestra un proceso con tres puestos —y, por tanto, tres células en U— que, además, las hemos diseñado para conformar una nueva U entre ellas.

El total de tareas asignadas a cada puesto está equilibrado (8 minutos). Sin embargo, con esta disposición es difícil implementar la flexibilidad, ya que para reducir a dos o aumentar a cuatro los puestos, habría que recomponer la disposición celular de las tareas del proceso y sus máquinas.

El equilibrado permite eliminar desperdicios en esperas en puestos y en stock en proceso, como manifiesta el diagrama OT (que presentamos a propósito de la figura 6.20) del desarrollo del proceso a lo largo de los tres puestos —véase figura 7.24—. En el diagrama de dicha figura ninguna pieza espera y el ciclo de cada puesto es de 8 minutos exactamente.

Una posibilidad para facilitar la flexibilidad en la implantación del proceso, es disponerlo todo en una única U con todos los puestos de trabajo, tal como demuestra la figura 7.25. Así, la flexibilidad se puede implementar con mucha facilidad, ya que añadir o quitar trabajadores no exige cambios en la estructura celular (como se vio a propósito de las figuras 7.14 y 7.15), sino tan solo en la distribución de tareas entre los puestos de trabajo.

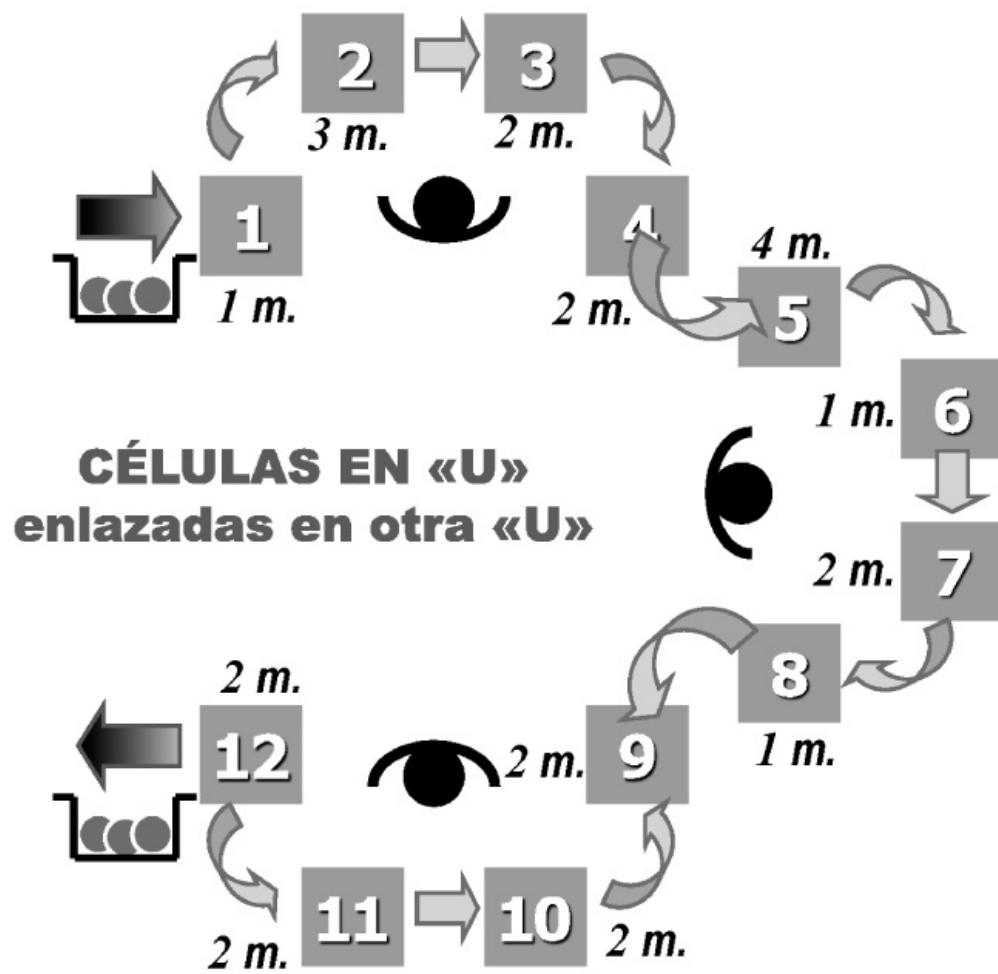


Figura 7.23. Una célula para cada puesto de trabajo.

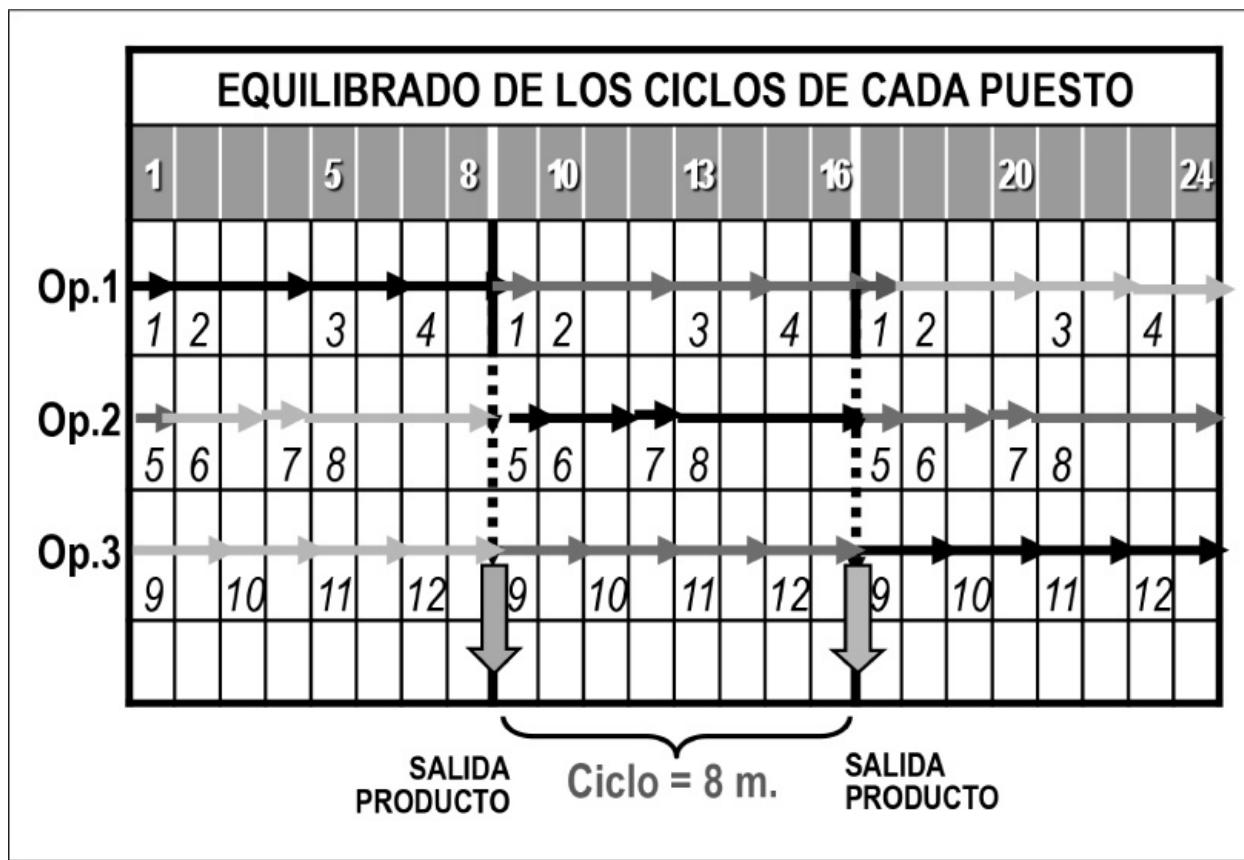


Figura 7.24. Diagrama OT de la disposición anterior.

El equilibrado se logra igualmente —como se aprecia en la figura 7.26— cargando de trabajo por igual a todos los puestos, aunque ahora lleven a cabo tareas no secuenciales (por ejemplo, el primer puesto realiza las tareas 1, 2, 11 y 12).

El diagrama OT de la citada figura se refiere a cómo el proceso se halla totalmente equilibrado, pues cada puesto entrega el producto justo en el momento que recibe una nueva unidad, y ni los puestos, ni el producto tienen que esperar en ningún caso. Se observa además (siguiendo la secuencia de las tareas 1, 2,... 11 y 12) que todas las unidades de producto pasan dos veces por los dos primeros puestos. El ciclo de trabajo sigue siendo de 8 minutos para todos los puestos.

Sin embargo, esta última disposición, pese a cumplir con la minimización total de despilfarros y adoptar la flexibilidad, puede tener dificultades en su aplicación práctica, al tener que distribuir y redistribuir las cargas de trabajo entre los puestos, de forma que queden equilibradas y, además, que se trate de tareas que se hallen alrededor del trabajador. Esto puede llegar a ser muy

farragoso e, incluso, imposible de lograr. Para resolverlo existe un sistema que resuelve este problema muy bien, por lo que se está aplicando de forma generalizada: el *nagare* o *rabbit run*. La figura 7.27 muestra este tipo de implantación

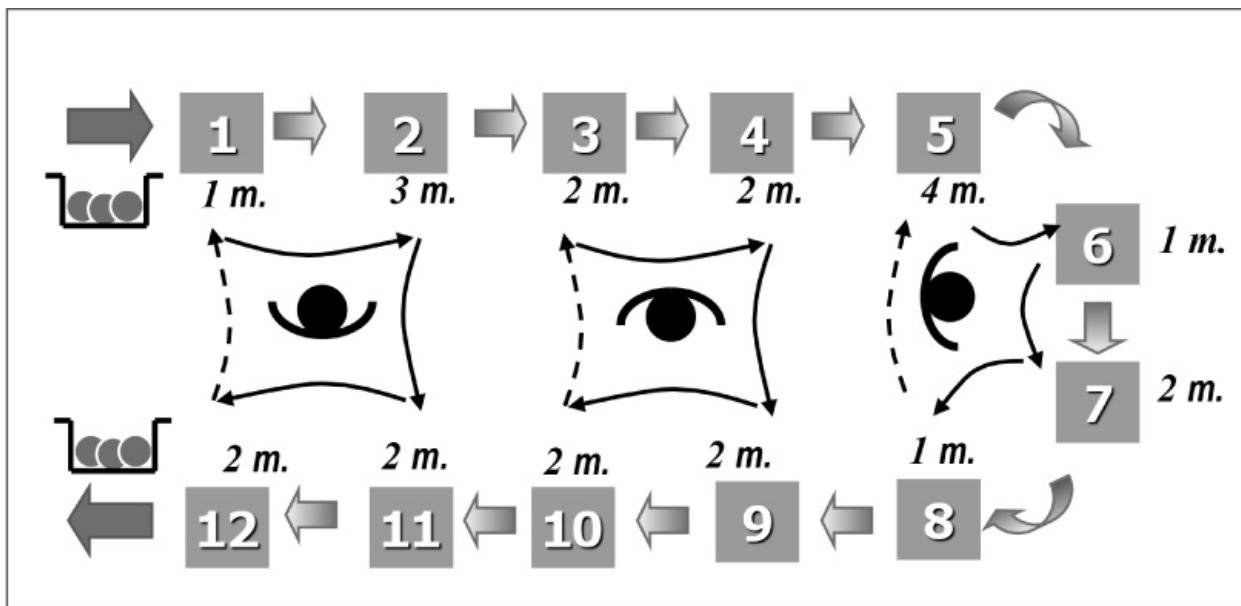


Figura 7.25. Disposición de un proceso en una célula en U única.

De acuerdo con esta disposición, un trabajador efectúa *todas* las tareas del proceso, pero junto a él se disponen los trabajadores que se precisen, todos ellos con la misma misión, manteniendo una mínima distancia entre ellos, para que no se molesten. El ciclo de trabajo de cada trabajador es ahora de 24 minutos, el proceso completo, pero como se observa claramente en el diagrama OT de esta nueva disposición (figura 7.28), el tiempo de ciclo del proceso sigue siendo de 8 minutos, es decir, el que transcurre desde que se efectúa la última tarea —la 12— en una unidad de producto hasta que vuelve a efectuarse en la siguiente.

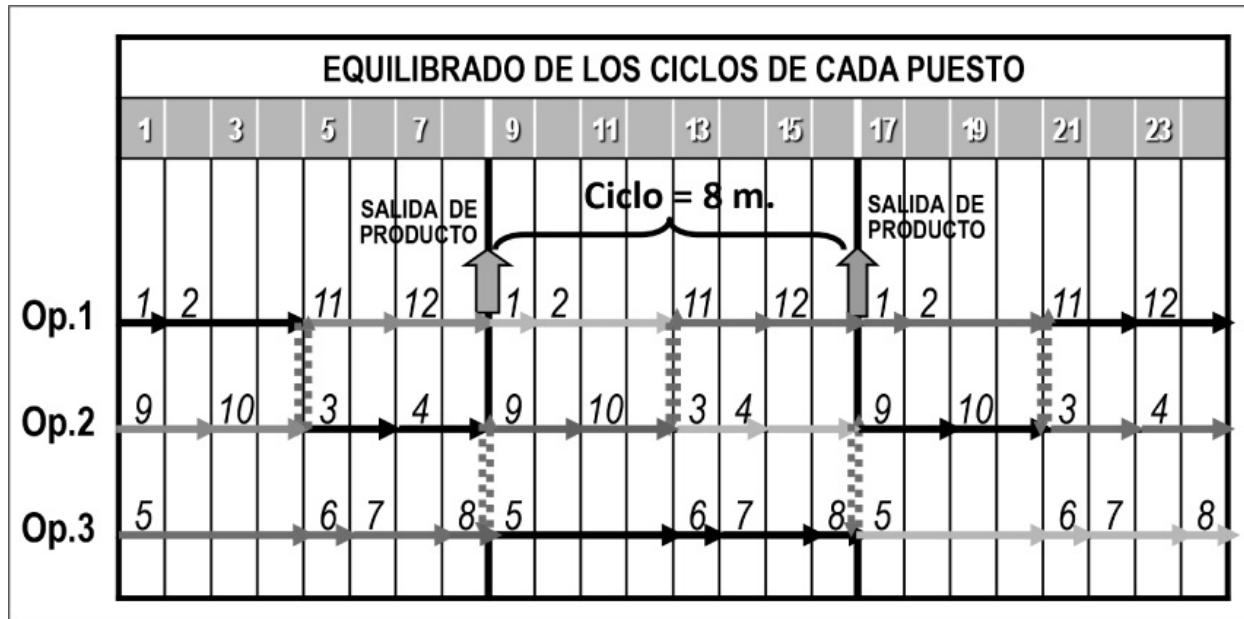


Figura 7.26. Diagrama OT de la célula única.

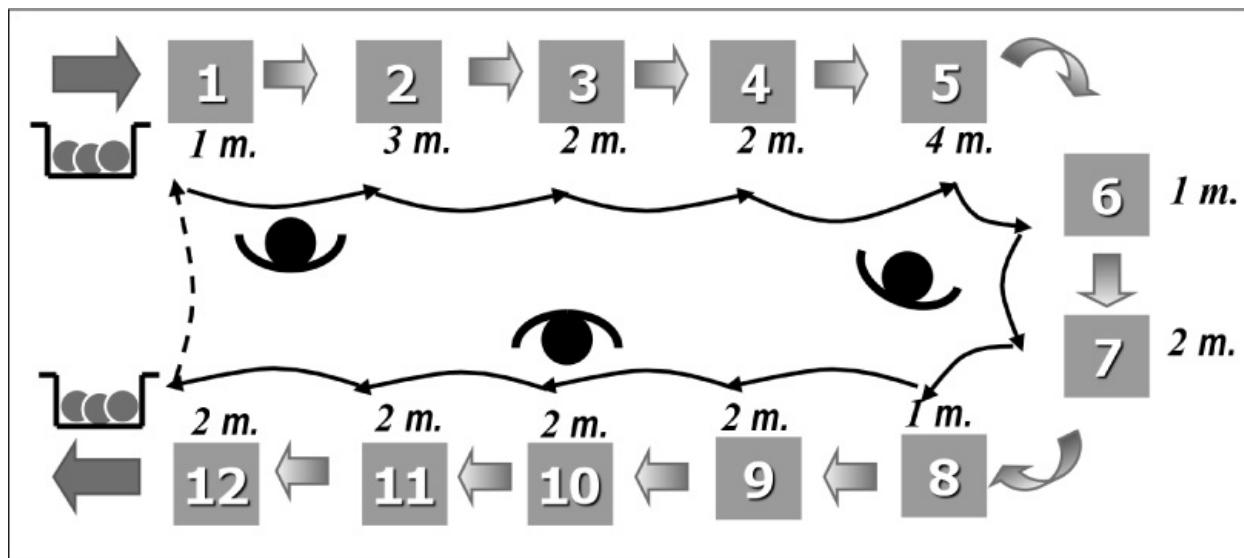


Figura 7.27. Célula flexible con los puestos de trabajo dispuestos en Nagare o *Rabbit run*.

Sea con una u otra disposición, la célula flexible permite al máximo eliminar los desperdicios en los procesos y dotarlos de una gran flexibilidad. Dicha flexibilidad tiene una doble vertiente:

- *Flexibilidad en producción (volumen)*. La forma en U que adoptan las células de fabricación permite la reasignación de trabajadores (sobre todo si están de pie, son multiproceso y polivalentes) y variando el

número de trabajadores podremos además variar la capacidad de producción. Nos ocuparemos seguidamente de cómo llevar a cabo esto.

- *Flexibilidad en producto (tipo o clase).* La agrupación de productos por familias con suficientes similitudes para que pueda establecerse una secuencia de tareas del proceso, válida para todos ellos, permitirá que en una misma célula puedan producirse distintos productos o modelos de producto. Nos ocuparemos de ello a propósito de las líneas multiproducto.

Las células flexibles pueden utilizarse, como se verá con mayor detalle, para implementar procesos de ensamblaje que, en el modo tradicional, se efectúan en cadenas tradicionales. El uso de este tipo de líneas de producción puede conllevar, además de la inflexibilidad derivada, sobre todo, de la operativa con trabajadores especialistas, una manipulación de materiales excesiva, ya que los operarios pasan la mayor parte del tiempo tirando de contenedores o empujándolos, recogiendo y colocando piezas y observando el funcionamiento de las máquinas, en lugar de trabajar para añadir valor al producto.

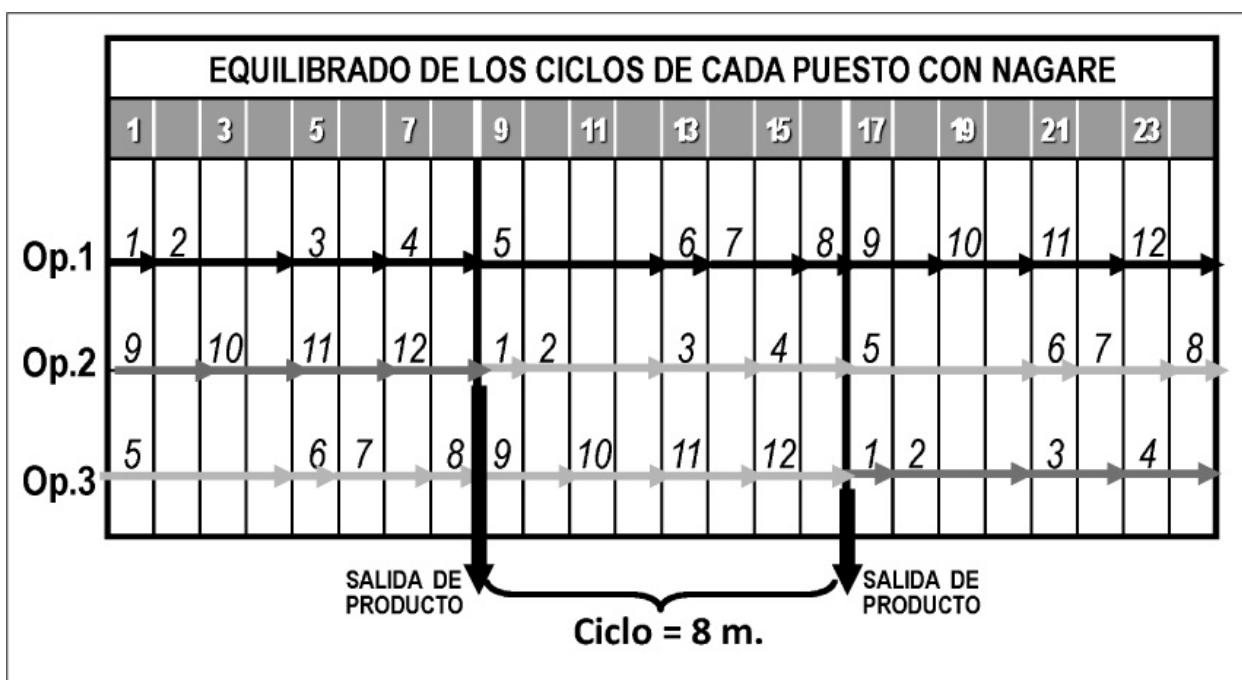


Figura. 7.28. Diagrama OT de la célula en Nagare.

Una solución para subsanar estos problemas consiste en eliminar la cinta transportadora, agrupar más los puestos y llevar a cabo las operaciones de cada pieza sin acumular existencias entre ellas, para lo que será necesario agruparlas de forma que el tiempo total de cada agrupación (ciclo) sea el mismo. Ello puede llevarnos a disponer los procesos en las variantes de células en U ya expuestas, con lo que se ganaría en control, flexibilidad, eficacia e incluso espacio, pues está demostrado que las líneas de producción en U acaban ocupando menos espacio que las cadenas lineales más o menos rectas, además del que ahorran por la ausencia de stock en proceso.

7.6. Ingeniería de procesos *lean*: la flexibilidad en los procesos

La flexibilidad es un aspecto absolutamente inherente, pero al mismo tiempo exclusivo del *lean manufacturing*. Sin flexibilidad sería imposible alcanzar el objetivo de este modelo de gestión, de *producir lo que se demanda, en la cantidad demandada y en el momento en que se demanda*. En efecto, solo con la capacidad de adaptarse permanentemente a la demanda y su evolución, es decir, con la flexibilidad necesaria, podrá lograrse este objetivo.

Los modelos tradicionales de gestión no incorporan herramienta alguna que les confiera flexibilidad, dado que su objetivo es producir permanentemente al límite de su capacidad, desligando la producción de la demanda. Así pues, se prefieren las economías de escala para evitar la sobreproducción, de modo que el stock generado por ésta no es un problema para esta forma de pensamiento.

La ingeniería *lean* sí tiene desarrolladas sus herramientas para otorgar verdadera flexibilidad al sistema productivo. Se trata de partir de:

- ✓ Una planta con una capacidad dada fija
- ✓ Un proceso con un tiempo total asimismo fijo
- ✓ Una duración de la jornada laboral también fija

pese a lo cual se pretende obtener una producción variable y ajustada a la demanda, lo que parece harto difícil. Hay tres aspectos determinantes para lograrlo:

- *Implantación física* de los procesos *dotada de flexibilidad*, además de adoptar la disposición en flujo, para eliminar desperdicios, como ya sabemos. Ello nos lleva a utilizar las *células flexibles*, tal y como ya ha sido expuesto; con ellas, sabemos que será posible variar el ritmo de producción, sin más que añadir o remover puestos de trabajo en una célula dada.
- *Personal polivalente*, absolutamente necesario, para poder introducir nuevos puestos en una célula o removerlos. El personal, pues, habrá de ser capaz de operar en distintos procesos.
- *Capacidad excedentaria* de los procesos y sus máquinas y otros medios de producción. Sin ella, no serviría de nada introducir nuevos trabajadores en los procesos, ya que no dispondrían de tales medios para operar. Sin aceptarla, tampoco tendría sentido remover trabajadores de un proceso, ya que solo puede hacerse dejando los medios de producción en paro parcial.

Este último aspecto tiene una consecuencia importante sobre las posibilidades de automatizar las operaciones. En efecto, cuando el número de trabajadores cambia, la cadencia de funcionamiento de las máquinas cambia también, ya que, a cada ciclo, se pondrán de nuevo en marcha cuando el trabajador lo haga, y el tiempo de ciclo se ajustará al del trabajador. Pues bien, ello implica que no es conveniente automatizar la alimentación de las máquinas ni la transferencia del producto de una máquina a otra, ya que *hasta que no llegue el trabajador a cada máquina, ésta no debe arrancar un nuevo ciclo*. De no hacerse así, podría comprometerse seriamente la flexibilidad.

Estos tres aspectos determinantes hacen que la conversión al *lean manufacturing* sea muy compleja pero, sobre todo, muy difícil de aceptar para la forma de operar tradicional, lo que exige lo que hemos repetido varias veces: el *lean manufacturing* demanda un cambio de mentalidad y mantener ésta muy abierta. Quizá el aspecto más conflictivo es el tercero: las máquinas estarán operando un porcentaje variable del tiempo; el resto, paradas, lo que choca frontalmente con la forma de pensar tradicional. Shigeo Shingo, el consultor que tanto ayudó a Toyota a desarrollar su sistema, sobre todo con las técnicas de preparación rápida SMED, nos echa una valiosa mano en su libro *El sistema*

de Toyota desde el punto de vista de la ingeniería, donde dice:

«... para el mismo nivel de producción, Toyota tiene, de lejos, más equipo que la mayoría de las compañías, y éste es uno de sus puntos fuertes». Más adelante, comenta: «Si el número de máquinas por trabajador se redujese, la tasa de operación subiría; pero, entonces, los trabajadores tendrían que esperar a que las máquinas terminasen. En resumen, en Toyota se prefieren las tasas de operación de máquina más bajas...». Y luego: «Hay dos razones para esto: primero, una vez que una máquina o un equipo están amortizados, esencialmente están libres de costes. Segundo, el coste por hora de trabajador es, generalmente, mucho mayor que el coste de una hora de máquina; desde el punto de vista de la reducción de costes, una máquina sin trabajo es preferible a un trabajador parado». Finalmente, «... las máquinas *parecen* ser más costosas por su elevado coste de compra; sin embargo, en la mayoría de los casos, el coste de un trabajador es mucho más alto».

La conclusión es que no podemos permitir que el trabajador esté parado, pero tampoco que produzca en exceso sobre la demanda: la solución es la polivalencia a la que nos hemos referido, para utilizarlo en los procesos donde sea necesario. Para las máquinas, la solución para no sobreproducir es parar cuando no haga falta su producción. La necesidad de amortizarlas, Shingo la trata en el citado libro como algo engañoso, cuando dice que, ante todo, hay que evitar caer en la tentación de operar con equipos de gran capacidad y muy costosos y, a menudo, dotados de fuertes niveles de automatización, y alega que Toyota adquiere máquinas de bajo coste del exterior y ella misma las adapta a sus necesidades. Aun así, no elude la problemática de la amortización de las máquinas cuando se refiere al *coste sumergido*, una expresión utilizada en Toyota en el contexto de la inversión en equipos, que se refiere a que el equipo debe depreciarse tan pronto como se compra, se esté o no usando. Según Shingo, «es siempre preferible utilizar máquinas que produzcan a bajo coste, y el equipo que actualmente incremente los costes debe ponerse fuera de servicio, sin cuestionarse lo caro que pueda haber sido al comprarlo. El nuevo equipo debe comprarse solamente después de haber estudiado cuidadosamente todas las razones para su adquisición. Una vez que la compra se ha realizado, el coste de la máquina queda *sumergido* y la dirección debe experimentar continuamente la manera de mantener la producción en el coste más bajo».

7.6.1. Herramientas para incorporar la flexibilidad en el modelo *lean*

Implantar la auténtica flexibilidad en el volumen de producción para adaptarlo a las fluctuaciones de la demanda, a partir de cuanto hemos expuesto, supone evaluar el *takt time*, es decir, el tiempo de ciclo ideal para cubrir la demanda y hacerlo operativo ajustando el número de puestos de trabajo.

Se calcula el *takt time* dividiendo el tiempo disponible por la producción que se ha planificado, para después ajustar el ciclo real del proceso correspondiente al *takt time*, dividiendo el tiempo total del proceso por dicho *takt time*. El resultado será el número de trabajadores precisos para lograr el ajuste del ciclo del proceso al *takt time*, ya que si cada uno opera un tiempo igual al *takt time*, entre todos cubrirán el tiempo total del proceso.

Así pues, supongamos un proceso cuyo tiempo de proceso es T_p , que opera durante un tiempo disponible T y que pretende obtener una producción Q , que trataremos de que pueda variar sin que lo hagan las dos magnitudes anteriores.

Según hemos comentado repetidamente, el tiempo de ciclo conveniente para ajustarse a la demanda, el *takt time*, es:

$$Tk = \frac{T}{Q}$$

A su vez y según hemos expuesto anteriormente, el número de puestos de trabajo precisos sería:

$$n = \frac{T_p}{Tk} \quad \text{que teniendo en cuenta el valor de } Tk: \quad n = \frac{Q \times T_p}{T}$$

Lo que no deja de tener una lógica aplastante, ya que, con ello, el número de puestos crece con la producción y con el tiempo que ésta supone y se reduce con el tiempo disponible.

El valor de n que se obtiene de estos cálculos con toda probabilidad no será entero. Ante la dificultad de asignar un número no entero de puestos de trabajo al proceso, deberíamos tratar de implementar las mejoras necesarias para reducirlo a un entero pero, mientras tanto, se redondeará al entero superior.

7.6.2. El rol de las personas en la implementación de la flexibilidad

Un aspecto que resulta importante tener en cuenta en relación con la flexibilidad de las implantaciones *lean* es la necesidad de traer y enviar trabajadores de unos puestos a otros. Cuanto mayor sea la polivalencia del personal, más facilidades habrá para lograrlo, pero ¿qué podemos hacer cuando no se encuentra destino a los trabajadores sobrantes o trabajadores ociosos cuando faltan?

Para cubrir posibles nuevas necesidades de personal, trataremos de traer trabajadores (polivalentes) de procesos en los que sobran y tienen la necesaria polivalencia. Si ello no es posible, podemos acudir a remedios más tradicionales, tales como las horas extraordinarias, subcontratar o utilizar personal eventual.

Una posibilidad es jugar con un margen de seguridad en la capacidad o en la polivalencia, para no tener que cambiar el número de trabajadores cada vez que haya un pequeño aumento de la producción planificada.

En el caso contrario de vernos en la necesidad de encontrar destinos para el personal sobrante del número de puestos, podemos, ante todo y como medida idónea, enviar los trabajadores (polivalentes) sobrantes a procesos con aumento del número de puestos. De no ser ello posible, podemos utilizar las medidas tradicionales antes citadas, en sentido contrario.

Sin embargo, el mundo *lean* brinda opciones especiales que pueden resultar de gran interés, ya que tiene otras *ocupaciones* a disposición de los trabajadores cuando no necesitan producir, como llevar a cabo tareas de mantenimiento, reparaciones y nuevas instalaciones o mejoras, o bien, reciclaje, formación y capacitación para aumentar la polivalencia del personal y, también, promover reuniones de grupos de mejora.

7.6.3. Asignación balanceada de tareas a los puestos de trabajo

Las tareas asignadas a cada puesto han de ajustarse a la carga prevista, de acuerdo con la flexibilidad, pero tratando siempre de que el total de la carga de cada puesto se halle equilibrada o balanceada con las demás.

Es corriente ilustrar las tareas con sus cargas de trabajo por puestos, junto con las de las máquinas correspondientes e, incluso, el tiempo necesario para

desplazarse de una tarea a otra, en un diagrama que se halle a la vista en el puesto de trabajo. Este diagrama suele conocerse como *hoja de combinación de trabajos*, como muestra la figura 7.29. En ella puede representarse la combinación de tareas que podrán asignarse a un puesto de trabajo dado, para ajustarlo a un ciclo con el margen que se decida; dicho margen será la diferencia entre la duración de ciclo y el contenido neto total de trabajo (ciclo real), que en el ejemplo de la figura no presenta diferencia alguna (58 segundos en ambos casos).

La hoja de combinación de trabajos puede contener, además, datos generales del proceso y específicos de existencias, controles y seguridad por actividades del puesto, que pueden visualizarse en un pequeño croquis.

La parte fundamental de dicha hoja es, sin embargo, el diagrama con las duraciones de las actividades representadas por bloques con distintos sombreados, cuyo significado es el de las flechas del diagrama OT, solo que aquí, al tratarse de un estudio en detalle, están desglosados los tiempos de trabajador y de máquina y representados también los tiempos de desplazamiento entre ambos, cuyos valores, en las columnas situadas a la izquierda del diagrama, quedan, por este motivo, intercalados entre dos actividades.

Hoja de combinación de trabajos

Empresa: *ELIMASA*

Proceso: Fabricación de antenas

Línea: *Estructura tubular*

Puesto: *Ensamblaje cuerpo antena*

Fecha: 3 oct 08 n° 4 de 10

Duración del ciclo (seg.): 58

Contenido neto total de trabajo (seg): 58

Existencias en proceso estándar: (Uds): 10

E: Existencias en proceso

C(n): Verificación de calidad (una cada n piezas)

S: Seguridad necesaria

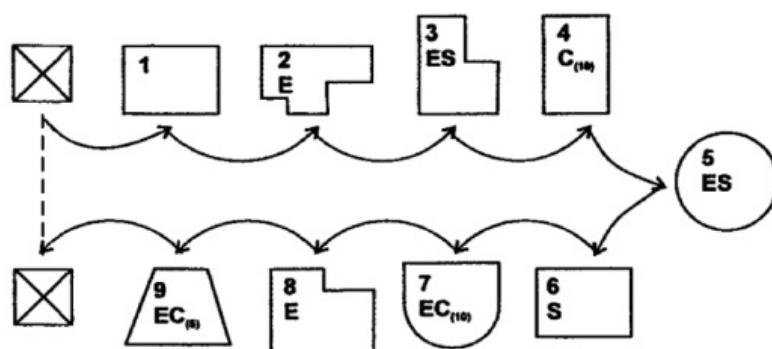


DIAGRAMA DE COMBINACION DE TRABAJOS PARA EL PUESTO DE TRABAJO

Figura 7.29. Hoja de combinación de trabajos.

En el caso de la figura, puede observarse que el ciclo de 58 segundos se cumple exactamente tras la última de las actividades asignadas a un trabajador.

Está claro, pues, que el contenido de trabajo del puesto representado en la hoja de combinación de trabajos, entendido como el tiempo que requiere el proceso para definir la duración del ciclo para este puesto de trabajo, será la suma de los tiempos de la columna manual y los de la columna desplazamiento, ya que los correspondientes a la máquina deben solaparse con los anteriores.

La suma de los tiempos que dedica el operario a cada tarea, incluyendo desplazamientos, determinará el tiempo total neto de trabajo del ciclo y, por supuesto, este total deberá acercarse al máximo de la duración del ciclo establecida, sin sobrepasarlo.

La *hoja de combinación de trabajos* es una valiosa herramienta utilizada para asignar tareas a los operarios de cada puesto de trabajo, estandarizar el trabajo y determinar la duración del ciclo a partir de los tiempos elementales.

Todo proceso requiere establecer unos estándares que deberán reflejarse en la hoja de combinación de trabajos y que constituyen las señas de identidad del proceso y de cada uno de sus puestos de trabajo. El estándar a definir para cada puesto se compone de:

1. Tiempo de ciclo.
2. Secuencia de operaciones del producto.
3. Ruta de operaciones del trabajador.
4. Cantidades estándar de stocks en proceso admitida en cada puesto.

7.7. Caso práctico de evolución desde una operativa tradicional hasta el *lean manufacturing*. Etapa de establecimiento del flujo *pull*

Vamos ahora a continuar con el caso-ejemplo iniciado en el capítulo quinto y continuado en el sexto, para el diseño, desarrollo e implantación de procesos

de fabricación de sillas de cuero, de acuerdo con la ingeniería *lean*. En este epígrafe avanzaremos un poco más y abordaremos los aspectos expuestos en el presente capítulo, es decir, la flexibilidad para ajustarse a la demanda en todo momento, lo que nos llevará al diseño de los procesos en forma de células flexibles. Para ello y, como bien sabemos, hemos de ajustar el número de puestos de trabajo al *takt time*.

Tiempo de ciclo en función del número de puestos de trabajo:

IMPLANTACIÓN MEDIANTE CÉLULAS FLEXIBLES: Modelo **CROMADA**

Proceso	Tiempo de proceso (minutos)	Nº puestos por célula	Ciclo con 1 célula	Ciclo con 2 células
Célula de estructura	13	6	2,2	1,1
		5	2,6	1,3
<i>Cromado: ajustar lote a takt time</i>		4	3,3	1,6
<i>(en caso contrario no llegará a tiempo al siguiente proceso)</i>		3	4,3	2,2
<i>Actualmente: con lote de 25 uds.: Takt = 4 min.</i>		2	6,5	3,3
		1	13,0	6,5
Célula de ensamblaje	20	6	3,3	1,7
o serpentín (si ha lugar)		5	4,0	2,0
		4	5,0	2,5
		3	6,7	3,3
		2	10,0	5,0
		1	20,0	10,0

Figura 7.30. Valores del *takt time*, según el número de puestos y de células, para el modelo cromada.

La figura 7.30 presenta una tabla que hemos preparado con este fin, en la que se encuentran distintos valores del tiempo de ciclo del proceso —que debe ajustarse al *takt time*— relacionados con valores del número de puestos de trabajo.

La tabla se refiere al modelo cromada, con sus dos procesos: la fabricación de las estructuras tubulares, con un tiempo de proceso total de 13 minutos, y el de ensamblaje, cuyo tiempo es de 20 minutos (consultar datos del caso).

Estos tiempos de proceso, divididos por el número de puestos, permiten obtener los valores del tiempo de ciclo ajustado al *takt time* deseado. Para que la tabla sea más completa, hay dos columnas con el *takt time*, según se opere con una célula o con dos simultáneamente, en cuyo caso, el ciclo sería la mitad del correspondiente a una célula. Así, para seis puestos en el proceso de fabricación de la estructura, tendríamos:

$$\text{Tiempo de ciclo} = 13/6 = 2,2 \text{ min (1 célula)} \text{ y } 2,2/2 = 1,1 \text{ min (2 células)}$$

Lo mismo podría hacerse para el proceso de ensamblaje, partiendo de un tiempo de proceso de 20 minutos. Los valores en gris suave o bien repiten otros ya obtenidos o son excesivamente grandes o pequeños.

Tiempo de ciclo en función del número de puestos de trabajo:

IMPLANTACIÓN MEDIANTE CÉLULAS FLEXIBLES: Modelo PINTADA

Proceso	Tiempo de proceso (minutos)	Nº puestos por célula	Ciclo con 1 célula	Ciclo con 2 células
Célula de estructura + pintura (min.): 4	17	6	2,8	1,4
		5	3,4	1,7
		4	4,3	2,1
		3	5,7	2,8
		2	8,5	4,3
		1	17,0	8,5
Célula de ensamblaje o serpentín (si ha lugar)	20	6	3,3	1,7
		5	4,0	2,0
		4	5,0	2,5
		3	6,7	3,3
		2	10,0	5,0
		1	20,0	10,0

Figura 7.31. Valores del *takt time*, según el número de puestos y de células, para el modelo pintada.

Dado que en el capítulo anterior, al implantar el sistema *kanban*, entramos ya en un entorno multiproducto con el modelo pintado, además del cromado,

continuaremos ahora con ambos modelos, motivo por el que en la figura 7.31 mostramos la tabla para el modelo de silla pintada.

Esta tabla solo difiere de la anterior en el tiempo de proceso de la fabricación de la estructura, que incluye cuatro minutos más por el proceso de la pintura. Luego, claro está, los valores del *takt time* para este modelo son distintos de los de la tabla anterior, ya que resultan de operar con un tiempo de proceso que ha cambiado.

Para usar estas tablas, hemos de partir de un *takt time* que interese y buscar el número de puestos de trabajo y de células que lo satisfacen en la tabla correspondiente. Por ejemplo, en el desarrollo del caso efectuado en capítulos anteriores, hemos operado con un *takt time* de 4 minutos y supondremos que éste es el que queremos para el modelo de silla pintada. En la tabla de este modelo, buscaremos en la columna ciclo con una célula (luego puede buscarse en la columna de dos células) el valor 4. Para el ensamblaje lo encontramos directamente para una célula, y corresponde a un total de cinco puestos de trabajo. Para el proceso de fabricación de la estructura no lo encontramos, así que elegiremos el inmediatamente inferior (3,4) que corresponde a cinco puestos. Si eligiéramos el valor superior (4,3), el proceso sería excesivamente lento y el puesto se convertiría en un cuello de botella.

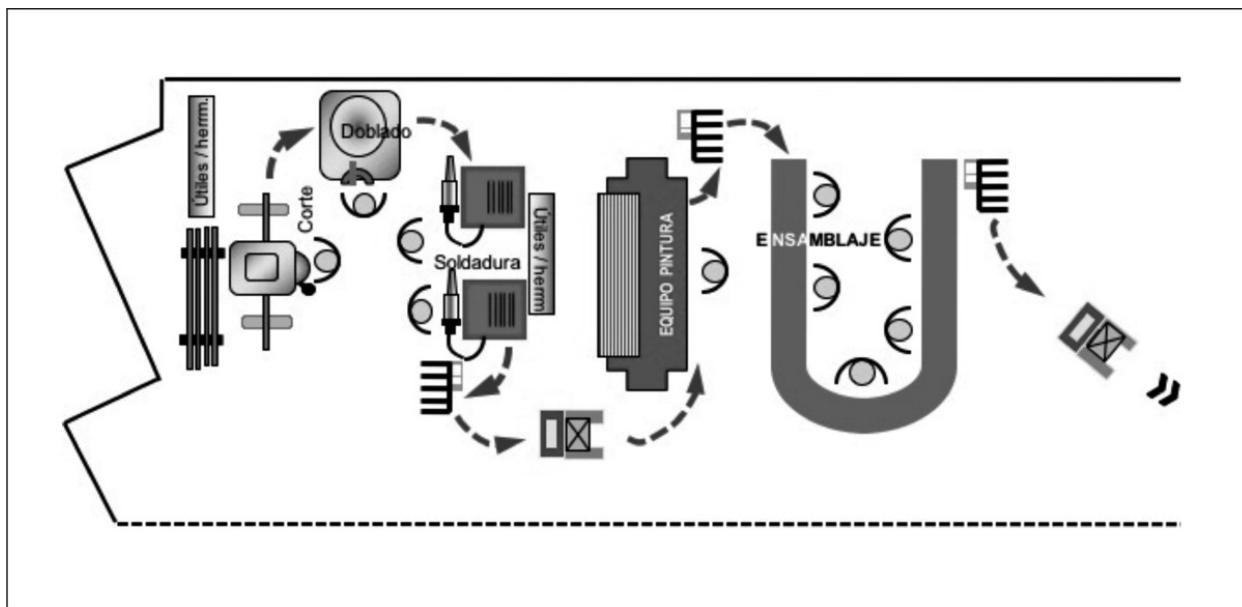


Figura 7.32. Implementación celular de los procesos de fabricación de sillas de cuero.

Veamos ahora cuál sería el diseño de estos procesos para tener la posibilidad

de cambiar el tiempo de ciclo en función de un *takt time* cambiante. El diseño sería pues de tipo celular, como el de la figura 7.32, para el modelo de silla pintada, con el gran equipo de pintura en medio de dos disposiciones en célula flexible, puesto que no puede ubicarse en ninguna de ellas por su tamaño.

Como se puede apreciar, el proceso de fabricación está efectivamente dispuesto en un flujo en forma de U, lo mismo que el ensamblaje.

Una implantación que permitiría fabricar los dos modelos y con una mayor capacidad y, por tanto, flexibilidad al cambio de tiempo de ciclo es el que muestra la figura 7.33 (en la página siguiente). En este caso, se han dispuesto ya dos células flexibles iguales de fabricación de la estructura y dos flujos en U unidos entre ellos formando un serpentín para el ensamblaje. Cadenas de ensamblaje en forma de serpentín, para *trocear* procesos de ensamblaje en pequeñas células, son corrientes en la actualidad.

En las células de fabricación vemos que la estructura ya soldada puede salir hacia el muelle de carga para ir a cromar, volviendo luego a un supermercado previo al ensamblaje, o pasar a una pequeña cabina de pintura (integrada, por fin, en la célula) y de ahí a un pequeño horno de secado, antes de ir a dicho supermercado previo al ensamblaje. Nos hemos librado ya del enorme equipo de pintura (un “monumento”, según Toyota).

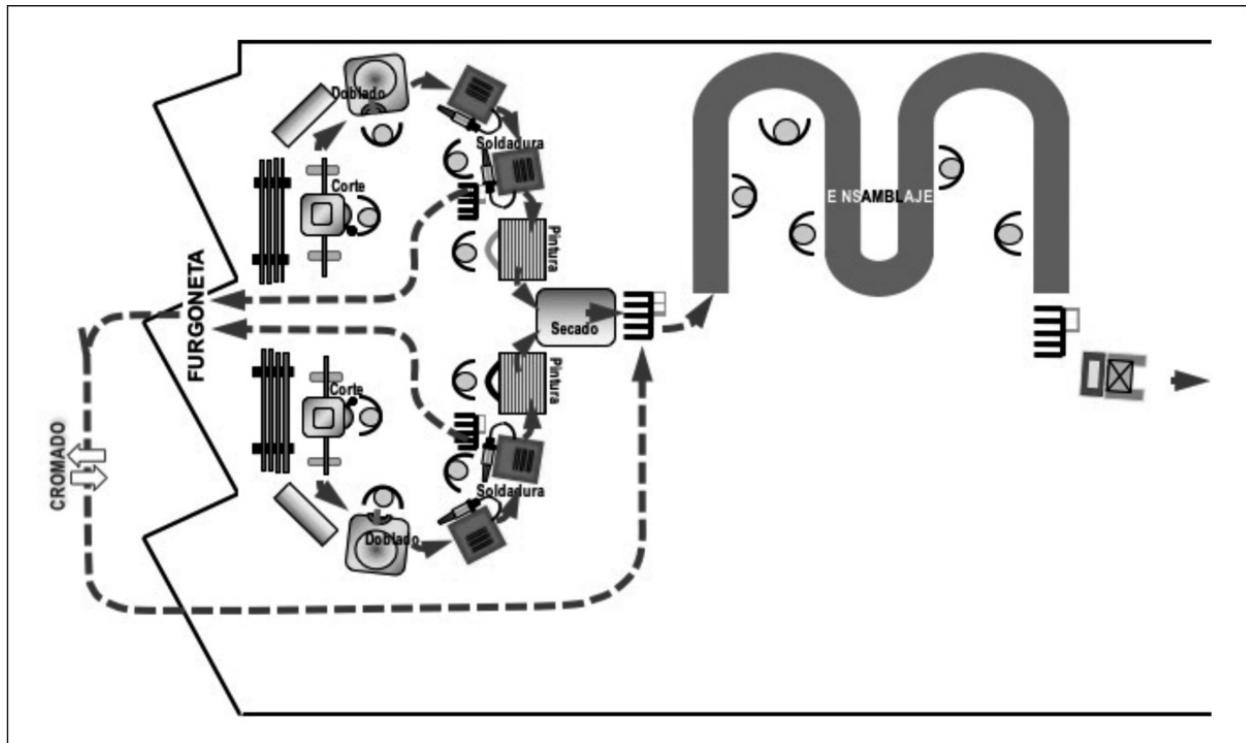


Figura 7.33. Implantación celular de los procesos de los dos modelos de silla, con doble célula de fabricación y serpentín para ensamblaje.

8

LAYOUT DE PROCESOS DE FABRICACIÓN. TALLER CELULAR

LAYOUT EN EL MONTAJE CÉLULAS DE ENSAMBLAJE

8.1. Distribución en planta de los procesos. Distribución *lean*

La disposición física o distribución en planta de los procesos —con sus elementos— que componen un sistema productivo es un aspecto muy importante de la ingeniería de procesos (en lo relacionado con el diseño de los procesos de la planta) y de la ingeniería de plantas (en lo relativo a su implantación).

La distribución en planta o *layout* se ve afectada por aspectos determinantes:

- Flujo de los procesos.
- Flujo de los materiales y productos en curso.
- Situación de los materiales (supermercados, etc.) y medios de transporte.
- Posición de los equipamientos.
- Posición de los operarios.

- Flujo del operario.
- Flujo de la información.



Figura 8.1. Vista general del layout de una parte de una planta industrial.

La figura 8.1 presenta la visión de conjunto de un área productiva de una planta y, con ello, su *layout*. Vemos, en efecto, los elementos que componen dicha área y su disposición en la misma. Establecer el *layout* de los procesos y elementos, que ubicar en una planta, puede realizarse mediante las siguientes etapas:

ETAPA 1:

Disponer de un plano de la estructura constructiva de la planta, en que queden bien delimitadas las paredes, columnas y puertas, así como cualquier obstáculo y problemas que se pueden presentar, tales como diferentes alturas o niveles en el suelo. La figura 8.2 muestra un ejemplo de plano de la planta.

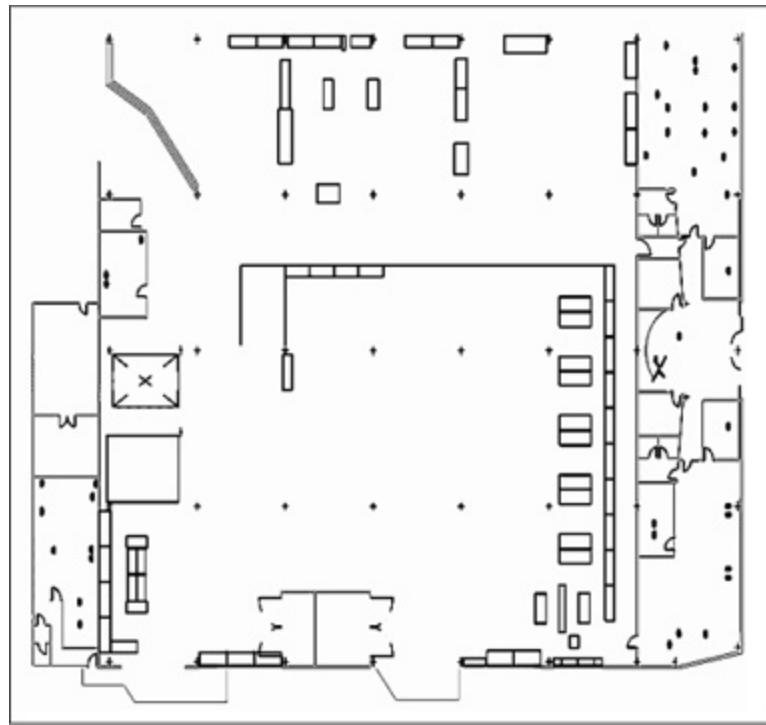


Figura 8.2. Plano general de una planta.

Es conveniente, además, que el plano contenga todos los detalles necesarios para el tipo de procesos cuyo *layout* ha de implementarse sobre el mismo. Así, pueden señalarse las canalizaciones, red eléctrica y otros aspectos de interés. Es conveniente también identificar los accesos a la planta en cuestión, desde otras ubicaciones de procesos que deben enviar materiales a la misma o recibirlas de ella, así como las posibilidades de comunicación.

ETAPA 2:

Marcar, en la zona útil del plano, los puntos de entrega de producto de los procesos a implantar y estudiar alternativas del flujo de dichos procesos y de los materiales que requieren, incluyendo los accesos a la planta desde otros procesos.

Esta acción se repetirá tantas veces como haga falta, para mostrar las distintas opciones de flujo y entrega que pueden tener interés. A continuación, se elige una de ellas, la que se considere más conveniente. En la figura 8.3 se observan seis posibilidades de flujo de los procesos y en los accesos, sobre la zona útil para implantar el *layout*. Se ha marcado una de las opciones con un trazo envolvente, señalizando que es la opción elegida como la más adecuada.

En una implantación de acuerdo con el modelo *lean* —que se caracteriza,

como se sabe, por la disposición física en flujo o cadena en lugar de funcional —, el flujo del proceso debe ajustarse a este patrón, tratando de facilitar que pueda ser lo más regular y constante posible, ya desde esta misma etapa.

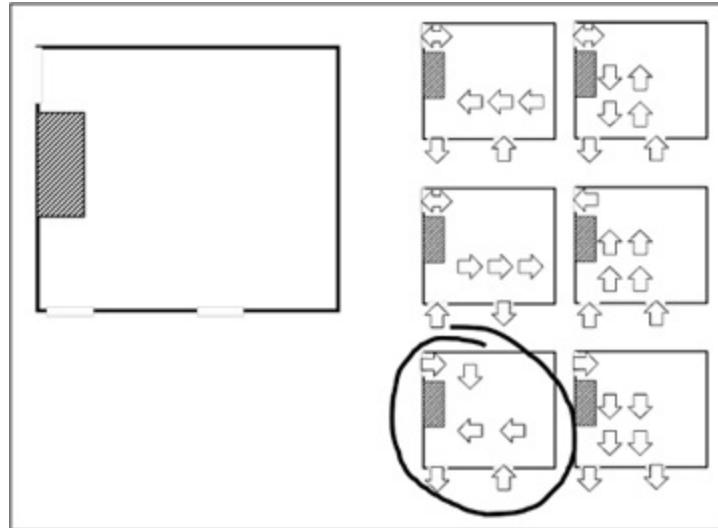


Figura 8.3. Alternativas de flujo y entrega de producto.



Figura 8.4. Delimitación del área para el *layout*.

ETAPA 3:

A partir de ahí y del espacio disponible en la planta y sus accesos, se procederá

a delimitar el área en la que se situará el conjunto de procesos que implantar, disponiendo pasillos para comunicar esta área con el resto de la planta, en la medida de lo conveniente.

La figura 8.4 presenta la planta en la que se pretende ubicar los procesos —ya mostrada en la figura 8.2— convenientemente adaptada para ello, habiéndose señalizado las áreas delimitadas para los procesos, así como los pasillos.

ETAPA 4:

Ahora es el momento de incorporar al área delimitada los elementos del sistema productivo que compondrán el *layout* y asignarles a cada uno la superficie que precisen (el *método de Guerchet*, expuesto en esta misma obra, puede ser de gran utilidad para ello). Será asimismo muy importante respetar al máximo el flujo de producto.

Para establecer el *layout* de implantaciones que se ajusten al pensamiento *lean*, será muy importante proponer disposiciones que faciliten la eliminación de desperdicios y favorezcan la flexibilidad. Así pues, el *layout*, en este supuesto, debería basarse en las células flexibles, con implantaciones en flujo en forma de U.

En cualquier caso, conviene también aquí plantearse varias alternativas, para poder elegir la más conveniente.

La figura 8.5 presenta una propuesta para los procesos de montaje de un equipo de refrigeración, y se marcan las zonas delimitadas para ello en la figura 8.4. También se indica el flujo del producto tal como resulta de esta propuesta de *layout*.

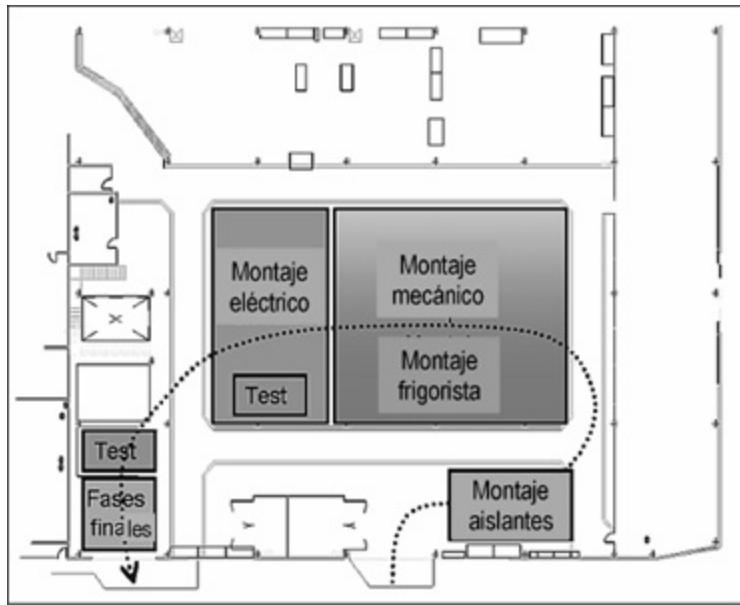


Figura 8.5. *Layout* de los procesos en las áreas delimitadas y flujo del producto.

ETAPA 5:

Como complemento de la representación de los elementos involucrados en el *layout*, es conveniente añadir al mismo una visualización de detalle de los distintos flujos (secuencia de operaciones del proceso, materiales procedentes de estanterías y similares, productos en curso, flujo de la información y, también, el de las personas).

Una vez más, habrá que elegir la mejor entre las soluciones aportadas, en la que los distintos flujos tendrán un papel destacado. La figura 8.6 plasma el detalle de una de las soluciones para el *layout* de la planta con los procesos de la figura 8.5.

ETAPA 6:

Para completar el *layout* es imprescindible introducir finalmente los elementos correspondientes al *layout* detallado del entorno del operario, sin olvidar los elementos hasta ahora incluidos y el flujo de materiales y producto.

La figura 8.7 presenta el *layout* final para el caso que hemos considerado, habiendo elegido finalmente una distribución en planta en flujo y en forma de U, para realizar una implantación acorde con el *lean manufacturing*. En él se ha incluido el detalle de cada operación y de los puestos de trabajo y su disposición.

Como complemento de esta última etapa y para recalcar la importancia de

detallar la disposición de cada puesto de trabajo, la figura 8.8 muestra una fotografía del equipamiento y otros elementos de un puesto de trabajo convenientemente dispuestos.

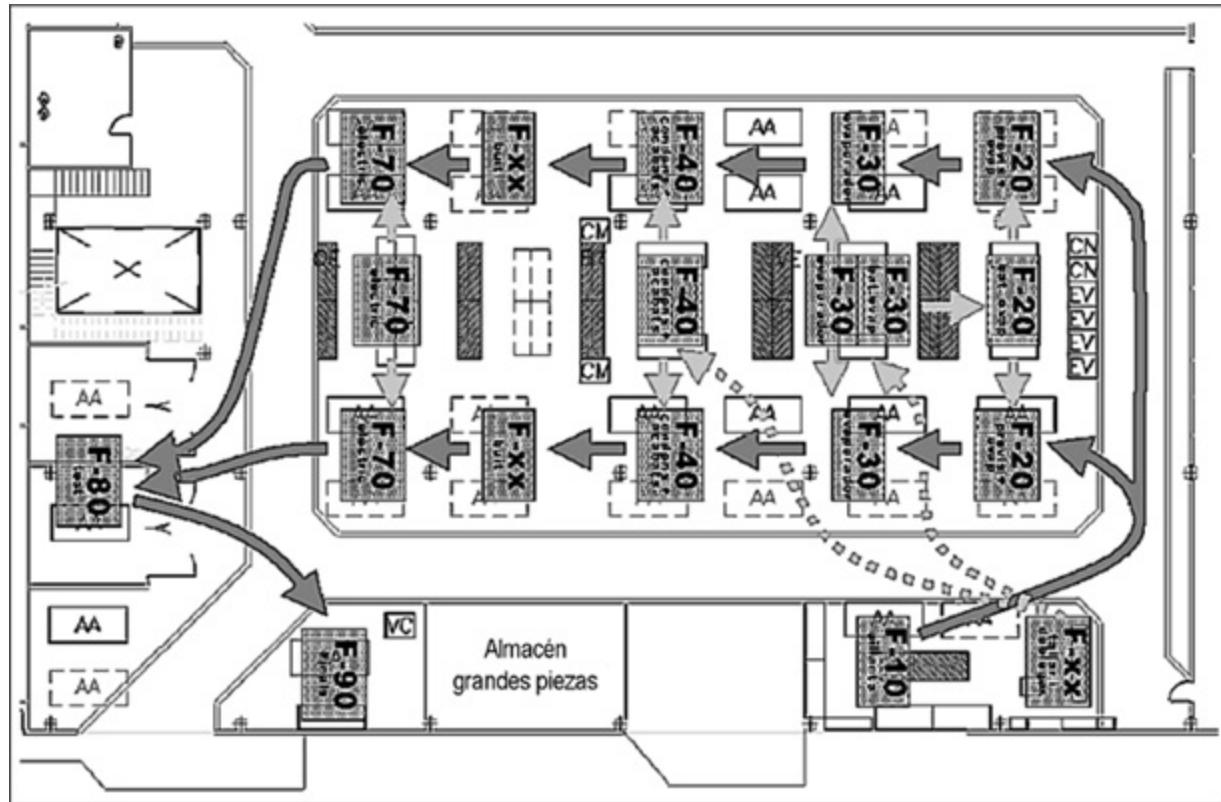


Figura 8.6. Detalle de las operaciones de los procesos a implantar y sus flujos.

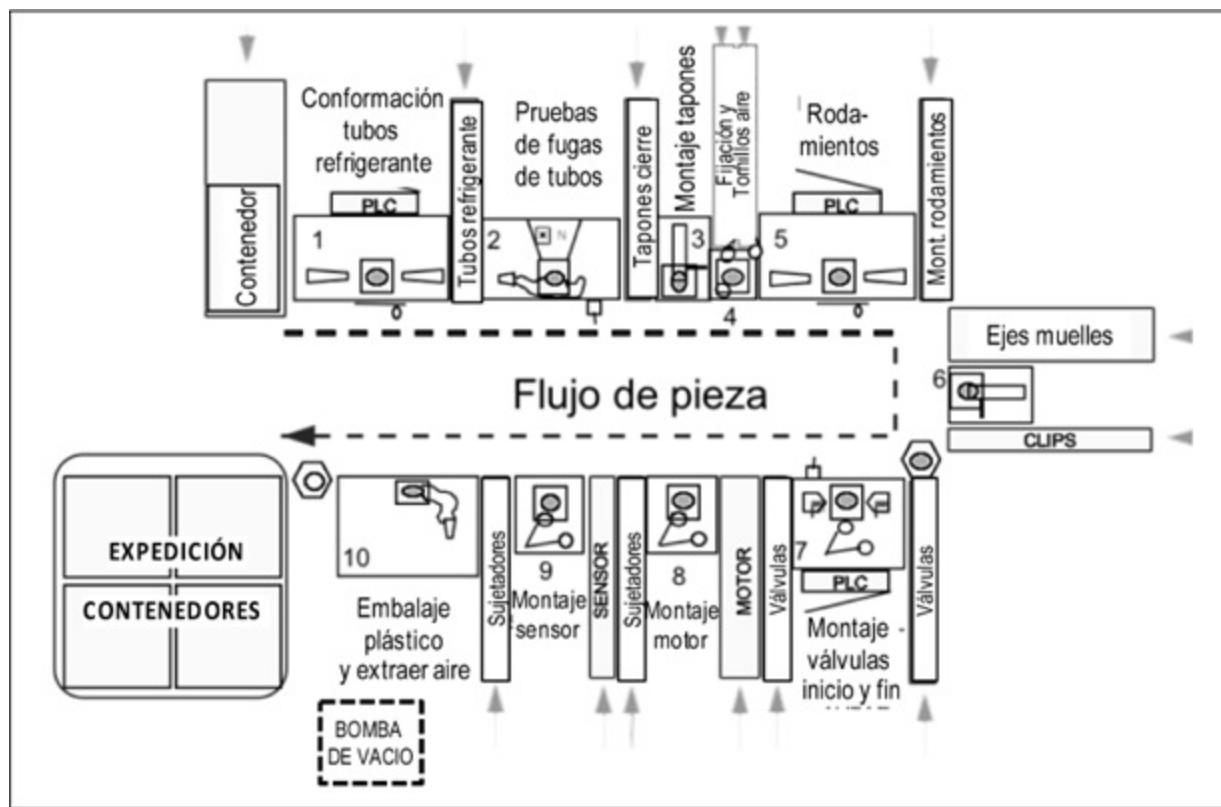


Figura 8.7. Layout definitivo, en flujo, con el detalle de las operaciones, materiales y disposición de los puestos de trabajo.

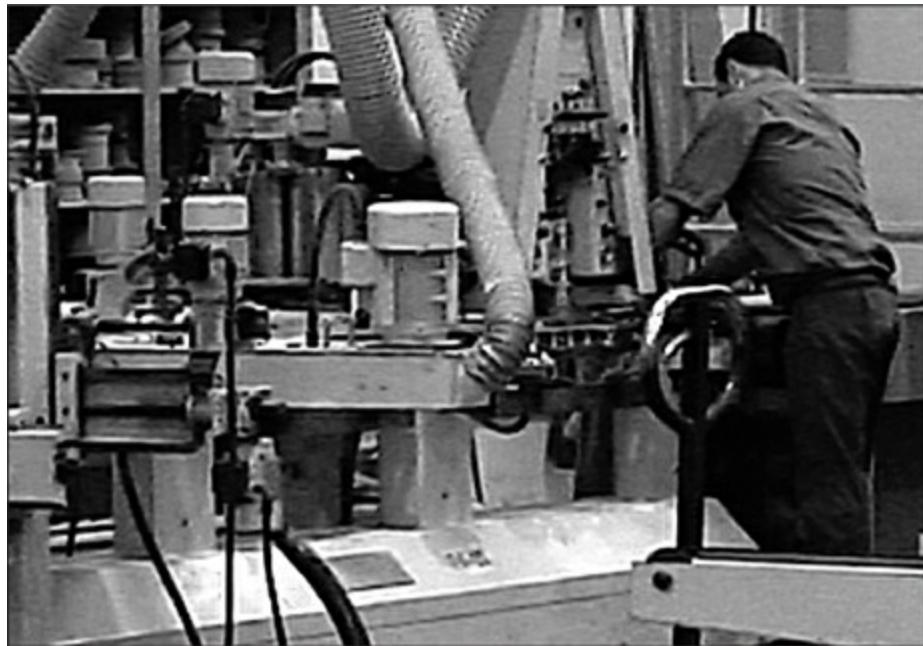


Figura 8.8. Equipamiento y otros elementos de un puesto de trabajo.

La distribución en planta puede realizarse, tal como ha sido expuesta, a diferentes niveles:

- *Layout* general de planta.
- *Layout* de un proceso.
- *Layout* de una operación de un proceso.

En cada uno se determinarán las posiciones de las estaciones de trabajo, la posición de los operarios y el recorrido de materiales, productos y personas.

8.2. Aspectos determinantes del *layout* en ingeniería de procesos

La elaboración del *layout* es la tarea más *visual* de la ingeniería de procesos y, en buena medida, es el resultado del trabajo realizado anteriormente. Por este motivo se puede afirmar que el *layout* es el resultado de múltiples interacciones entre los estudios realizados en ambas ingenierías.

Uno de sus aspectos clave es la necesidad de reducir drásticamente las actividades sin valor añadido por desplazamientos en la planta, sea para ir a buscar material, recoger o utilizar herramientas y, también, ir en busca de información. Para ello será conveniente tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Identificación del material que, de realizarse correctamente, no hay que emplear tiempo en buscarlo.
- Entrega material bien definida, creando puntos para efectuarla, rutas y cantidades a entregar. Con entregas mediante señales *pull* se incluirá un sistema de tarjetas *kanban* o similar.
- Definición de utilajes y los lugares en que se usarán.
- Organización del lugar de trabajo. A tal fin, se dispondrá el *layout* de manera que el proceso tenga los recursos necesarios, el material cerca de donde se precisa y la zona de montaje final próxima.
- Diseño de áreas de trabajo específicas para cada función, separadas del resto.

A partir de ahí y tal y como ya se ha comentado a raíz de las etapas de la elaboración del *layout*, se determina la superficie real en la que ubicar los procesos y se establece un flujo general de proceso hacia la zona de salida del producto acabado, previamente determinada.

Para decidir el flujo general de proceso, se deben tener en cuenta la forma de la superficie del *layout*, los accesos y todos los flujos que incorporar, incluyendo los premontajes y la ubicación de los stocks de materiales y productos en curso. El objetivo final será crear un flujo claro, estándar, fijo y único, flexible en su utilización actual y futura, que minimice las pérdidas identificadas y donde los tres elementos que confluyen —operarios, material y proceso— se encuentren *cómodos*.

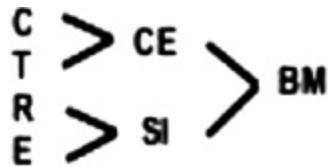
Es conveniente proponer varias alternativas y elegir la más conveniente, teniendo en cuenta los accesos naturales de la zona donde ubicar el *layout* (puertas, pasillos hacia otras zonas, etc.) y los flujos que deben discurrir por ellos o cruzarlos, teniendo muy en cuenta aspectos importantes como:

- La zona que delimitará el *layout*, considerando especialmente la forma, superficie y condiciones que reúne la misma, así como la adecuada conexión con el resto de los procesos de la planta.
- Delimitación de la zona de trabajo mediante una separación *quirúrgica* de las distintas zonas de trabajo y el resto de la planta. Para ayudar en lo posible, se identificará la zona de trabajo mediante líneas pintadas en el suelo (véase nuevamente la figura 8.8).
- Dentro de la “isla” solamente tendrán derecho a permanecer aquellos equipos y materiales que se precisen en cada momento. De no ser así, deberán ser apartados fuera del área correspondiente.

Dentro del área acotada para implantar los procesos se identificarán, ante todo, las distintas zonas dedicadas a cada uno de los grupos de procesos y operaciones del diagrama de precedencias, de acuerdo con el flujo establecido y en las proporciones que determinará el balanceo de operaciones (cuando se conozcan).

De hecho el diagrama de precedencias puede suponer la primera aproximación al *layout*, siempre matizada por el flujo real finalmente decidido, ya que puede haber más de uno que cumpla con las exigencias de aquél. Así,

el diagrama de precedencias de los procesos de ensamblaje de un bolígrafo, ya obtenido anteriormente, como se recordará, resultó ser el siguiente:



En este diagrama se visualiza claramente la posición de los distintos procesos que componen el producto y el flujo que existe entre ellos, de manera que puede facilitar la disposición de los elementos del *layout* correspondiente, aunque, como se dijo entonces, el flujo definitivo —que cumpla con las precedencias— admite diversas variantes.

8.2.1. Organización del *layout*

Determinadas características de los procesos a implantar pueden dar directrices específicas de cómo implementar el *layout*. Destacaremos:

- 1: Peso y volumen de los materiales a procesar:
Las dimensiones físicas de peso y volumen afectarán al área que precisa cada operación y, de ser elevados, el stock de materiales que pueda acumularse influirá decisivamente, lo mismo que ocurrirá con las dimensiones de los pasillos, que, a su vez, se verán influídos también por los medios de transporte elegidos para mover los materiales (remitimos nuevamente al lector al *método de Guerchet* para el dimensionado de las áreas del *layout*).
- 2: Tiempo de ciclo del proceso:
El tiempo de ciclo —el que transcurre desde que se entrega una unidad de producto hasta entregar la siguiente— puede influir no solo en lo concerniente al área de trabajo de cada puesto, sino también en todo lo que afecta al almacenaje y movimiento de materiales. Así, por ejemplo, incidirá en:
 - Cantidad de puestos de trabajo que lleven a cabo el mismo

proceso en paralelo, determinado por el tiempo de ciclo: si un puesto de trabajo está ocupado durante seis minutos por cada unidad de producto, pero se precisa que el tiempo de ciclo sea de dos minutos (por el volumen de producción que realizar), necesitaremos tres puestos en paralelo y, esto, condicionará el *layout* y el espacio ocupado por el mismo. En el supuesto de operar en *lean manufacturing* con una célula flexible en *nagare* no deberán disponerse puestos en paralelo, pero deberá dimensionarse bien la célula para que pueda albergar los tres puestos.

- Tipo de transporte: si el tiempo de ciclo es elevado o muy elevado (horas), el transporte pierde importancia, incluso para productos pesados y voluminosos, muy importante cuando es bajo (minutos o segundos).
 - Priorización de la carga y reposición de material en las estanterías: nuevamente, un tiempo de ciclo elevado permite que esta tarea no sea prioritaria.
 - Volumen de stock de productos en curso a lo largo de todo el *layout*. Resulta evidente que un tiempo de ciclo bajo favorecerá un volumen elevado de producto en curso (si no viene compensado por actuaciones que lo eviten), al generar mayor cantidad de unidades de producto por unidad de tiempo.
- 3: Existencia de procesos de fabricación o premontaje que entregan el producto a otros o al montaje final:
Estas líneas pueden observarse directamente en el diagrama de precedencias y, con frecuencia, se incluyen también en los mapas de flujo de valor del proceso principal.
 - 4: Desplazamientos necesarios entre los puestos de trabajo de procesos distintos (por ejemplo, de premontajes a montaje final) o a las áreas o estanterías de materiales.
A tal efecto, será bueno recordar que las estanterías de cada zona solo deben contener lo necesario para los procesos que se efectúan en ella. Serán estanterías específicas de la zona.

- 5: Las estanterías y zonas de almacenamiento deberán ubicarse en los lugares que generen menos desplazamientos y dimensionarse de acuerdo con el volumen de materiales que deben albergar.

En las implantaciones *lean*, las estanterías actuarán como supermercados y el volumen de materiales que pueden llegar a almacenarse en ellas podrá evaluarse por medio de tarjetas *kanban* o el sistema que se utilice para enviar órdenes *pull*.

La situación relativa de las estanterías respecto a los puestos de trabajo que deben alimentar resulta asimismo importante para reducir al máximo los desplazamientos. Así, por ejemplo, la figura 8.9 marca tres posibilidades para la ubicación de las estanterías con materiales para cuatro mesas de trabajo.

Las distancias entre mesas contiguas o entre una estantería y la mesa que tiene más cerca serán nuestra unidad de medida para las distancias (que llamaremos recorrido *R*). De acuerdo con ello, en el primer caso, hay dos flechas de movimiento, cuya distancia recorrida es 1 *R*, y otras dos con una distancia de 2 *R*. La figura indica que el primero presenta la mejor disposición en el *layout* (6*R*).

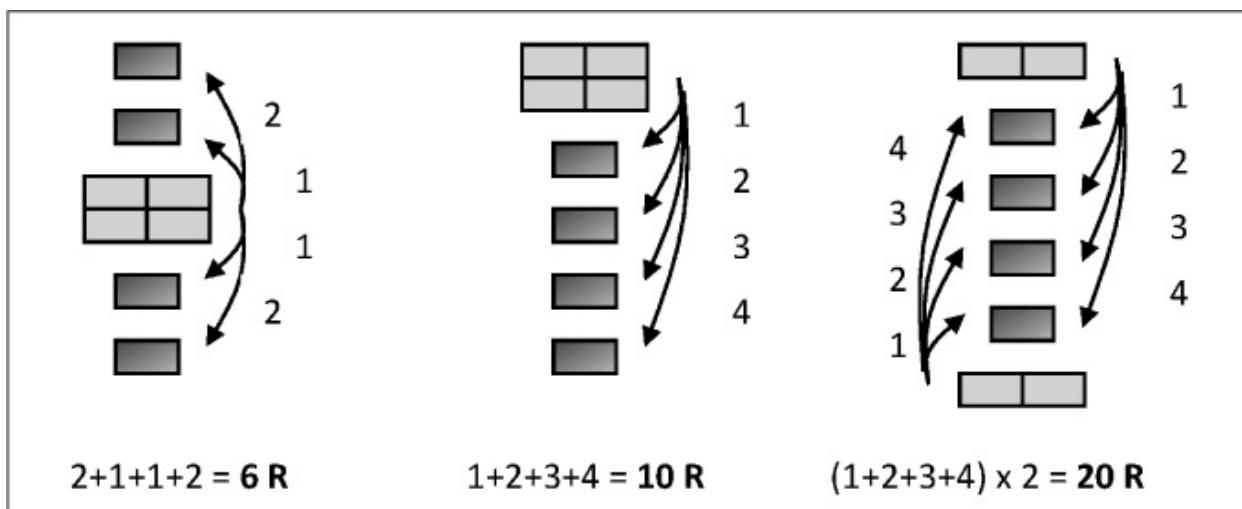


Figura 8.9. Distancias recorridas según la situación de las estanterías.

Otro aspecto a tener en cuenta es la movilidad del producto. En este sentido, también la solución de la izquierda de la figura 8.9 es la mejor, ya que propicia una mayor libertad para mover el producto desde las mesas de trabajo. En el resto, la estantería puede hacer de *barrera* para la salida del producto

(sobre todo si es voluminoso). La figura 8.10 indica esta circunstancia mediante las flechas *OK* (salida del producto facilitada) y *No* (salida dificultada por la estantería).

Llegados a este punto se insertan, siguiendo el orden determinado, las operaciones correspondientes a los procesos de cada unidad de producto, en el lugar preciso del *layout* y en la cantidad precisa de cada uno de los elementos que requieren.

Pueden surgir problemas de falta de espacio en puestos de trabajo concretos, para alojar los materiales precisos, sobre todo si su tamaño es grande, y puede, incluso, que no haya espacio suficiente en toda el área destinada al *layout*. Ello supondría tenerlos en una zona alejada del lugar de uso, por lo que, para minimizar al máximo los desplazamientos se puede crear un almacén avanzado con algunos componentes, incluso operando en *lean manufacturing*.



Figura 8.10. Indicación de la dificultad para la salida del producto.

También puede ocurrir que haya alguna fase de determinado proceso que deba realizarse fuera del área destinada al *layout*, como sería las operaciones en salas acondicionadas con equipos especializados. Entonces deberán preverse las comunicaciones adecuadas entre el proceso y la operación especial (un sistema *kanban* sería la solución en un entorno *lean*).

Por lo que hace referencia al flujo de información, una vez más el *lean manufacturing* da la mejor solución por medio del *kanban*: superpuesto en el *layout*, se establecerán los puntos de recogida de las tarjetas y el lugar de destino de cada una. Los tarjeteros se pueden encontrar en cada estantería, cerca de los materiales a los que se refieren.

8.3. Layout híbrido para la producción. Taller

celular

El *lean manufacturing* intenta evitar en sus plantas de producción las organizaciones de tipo funcional (talleres), que agrupan las máquinas de igual función, por la gran cantidad de desperdicios que generan, según ha sido ya expuesto sobradamente. Entre éstos destacan las esperas y stock derivados de trabajar por lotes y más esperas derivadas de la ausencia de sincronización. Además, este tipo de implantación física provoca riesgo de deterioro, dificultades de planificación y de control, etc. Pero, sobre todo, el mayor inconveniente es el de no facilitar el ajuste y la reprogramación de los recursos humanos para adaptarse a posibles cambios de demanda.

Por ello, el *lean manufacturing* promueve la utilización de *layouts* en flujo, tanto en la fabricación como en el montaje, basados en células flexibles, lo que supone una implantación en flujo *pull*, con el producto avanzando unidad a unidad o en lotes muy pequeños, los puestos de trabajo con las cargas equilibradas y la posibilidad de incluir la flexibilidad y, por tanto, cambiar el volumen de producción, por medio de la variación de la cantidad de puestos de trabajo de las células.

Todo ello, a la luz de los modelos tradicionales de gestión, parece implicar una falta de sentido común, ya que parece más efectivo producir en grandes lotes, mover los materiales también en lotes, utilizar las máquinas sin parar, especializar al máximo los trabajadores y olvidarse de equilibrar las operaciones porque cada máquina tiene un ciclo distinto (importante, si las máquinas han de operar sin parar).

Muy al contrario, siguiendo el modelo *lean*, se produce en flujo unidad a unidad, más rápidamente, sin merma de la productividad, y gozando de la flexibilidad de las células, lo que no es posible con los rígidos modelos tradicionales. Dicha flexibilidad supone evitar la sobreproducción y sus costes, una entrega rápida (*lead time* corto), reducción del período de maduración del capital circulante y mayor satisfacción de los clientes.

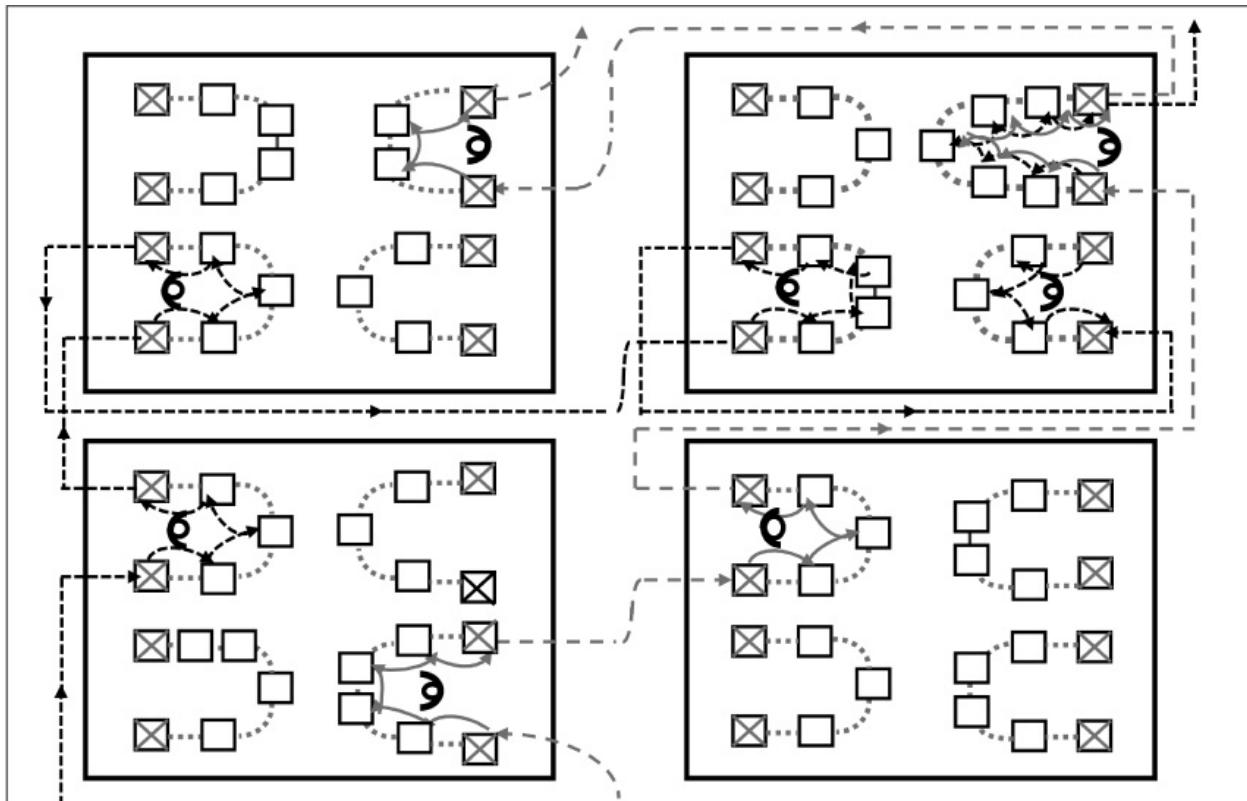


Figura 8.11. Implantación funcional con procesos en flujo.

Por otra parte, en su intento por simplificar la complejidad de la fábrica, la filosofía *lean* propone organizarla de forma que se faciliten flujos simples y unidireccionales de materiales dentro de la misma. Para ello, se puede proponer la agrupación en familias tecnológicas de aquellas piezas cuyas operaciones presentan similitudes (ciclos o partes de ciclos análogos o parecidos), pero constituyendo células dedicadas a la fabricación en flujo de estas familias de productos, simplemente reagrupando y disponiendo en un flujo celular las máquinas que permiten efectuar las operaciones sucesivas de la misma familia.

Así pues, la operativa de los procesos podría implantarse físicamente de forma que se combinaran las ventajas de la *distribución funcional* con las de la *distribución en flujo*, disponiendo procesos comunes a familias de productos, en líneas en forma de U y, por tanto, con una disposición en flujo, pero entre ellas la operativa podría realizarse en lotes y sistemas de transporte convencionales.

La transferencia de materiales entre los distintos procesos de fabricación, implementados ahora en flujos celulares, seguiría pues produciéndose con las

características de la disposición funcional para que la variedad de productos pudiera ser elevada, lo que, de momento, podría dar lugar a cierta complejidad de recorridos. Para eliminarla o reducirla al máximo, las células de fabricación podrían disponerse en la planta tal como se puede apreciar en la figura 8.11: un *layout* de base funcional, pero constituido por pequeños procesos que integran varias operaciones (y máquinas) en flujos celulares y, entre ellos, los materiales se acumulan en contenedores y se transfieren por medio de los sistemas de transporte propios de los talleres. Obsérvese, en la figura, cómo el producto avanza en flujo unitario dentro de cada célula y, luego, tiene que recorrer largas distancias hasta la siguiente operación, otro flujo celular, mediante los sistemas tradicionales propios de los talleres. Esta implantación se conoce como *taller celular*.

Así, por ejemplo, supongamos uno de los flujos celulares, que consista en una célula de fabricación de tallado de engranajes; todos los productos uno de cuyos componentes sea un engranaje (que pueden ser muy distintos) podrán utilizar este proceso y constituirían —en relación con el mismo— una familia de productos. En este ejemplo de fabricación con *layout* celular, los engranajes se elaborarían a partir de acero macizo, con una operación de torneado, otra de chaveteado, otra de fresado y, finalmente, el tallado de los dientes y pulido. Lo mismo diríamos a propósito de células de soldadura, pintura, fabricación de circuitos integrados, etc.

El establecimiento de la fabricación en flujo de una pieza se hace más difícil cuando se emplean equipos de gran capacidad y versatilidad, pensados para operar en *layouts* tipo taller. Tales equipos y mecanismos se orientan a la producción para múltiples procesos y no son en modo alguno fáciles de coordinar con los tiempos de ciclo de la producción de una pieza. Además su frecuente gran tamaño hace difícil —y, a veces, casi imposible— disponerlos en un flujo celular unos junto a otros.

La posibilidad de que todas las operaciones de un proceso o de una planta puedan agruparse en células de fabricación permitiría intentar un paso más en la búsqueda del *layout* ideal que posibilite la producción en flujo de la totalidad de los procesos de cada producto, pero aprovechándose de las ventajas de las implantaciones funcionales. Ello nos llevaría a la máxima expresión del *taller celular*.

Para que ello pueda tener lugar proponemos el *layout* que se indica en la figura 8.12, con dos (o más) líneas de producción integradas por flujos

celulares en U (con las aberturas de las U encaradas) y un transportador entre ambas.

En esta disposición, cada producto llega al proceso en flujo celular que le corresponda por medio del transportador, unidad a unidad. Al terminar el proceso podrá cargarse en el transportador y descargarse en la célula correspondiente al siguiente proceso que deba sufrir, pero siempre situado más adelante (hacia arriba en la figura). Para que ello sea posible, deben disponerse las células de forma que, en el orden en que se hallen situadas, realicen procesos que se efectúen en este mismo orden (nunca regresando hacia atrás). Cuando haya dudas de si, entre dos procesos (representados por sus flujos celulares), uno va a ir siempre detrás de otro, pueden disponerse a la misma altura, uno en cada línea de las dos implementadas en el *layout*, separadas por el transportador.

Esta implantación supondría poder simultanear recorridos bien distintos según el producto (las células por las que pasarían) y, por tanto, disfrutar de las ventajas de una implantación de tipo funcional, sin perder las ventajas de la distribución orientada al producto: flujo pieza a pieza, a lo largo de todo el recorrido de un producto, es decir, dentro y fuera de los flujos celulares.

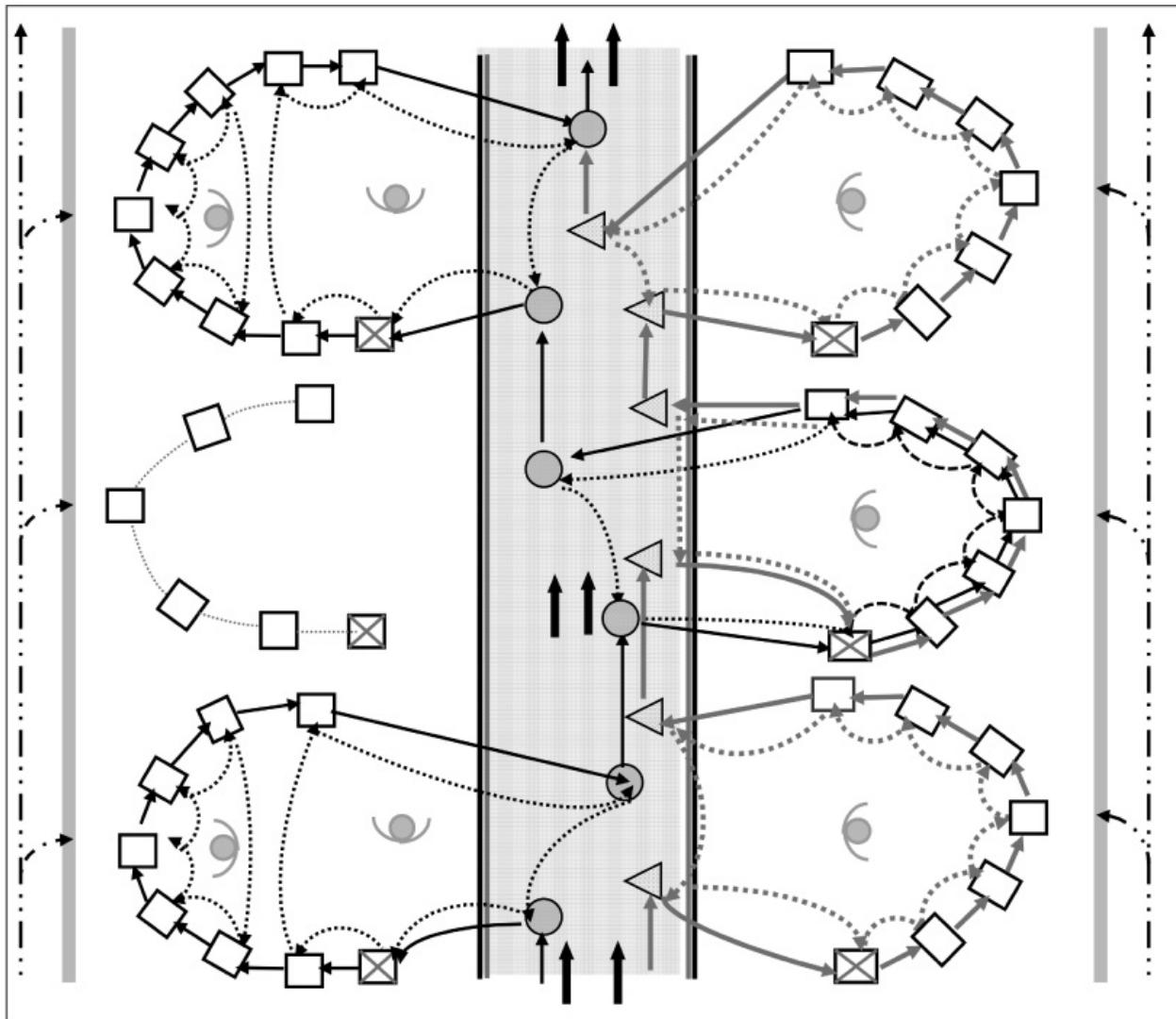


Figura 8.12. Taller celular (flujo unitario dentro y fuera de las células de fabricación).

Como se observa en la citada figura 8.12, cada pieza discurre por el transportador —fluyendo una a una, sin necesidad de juntarlas en lotes— hasta que es recogida desde una de las células de fabricación (cuyo proceso debe sufrir la pieza). Allí avanza también en flujo unitario —como es habitual en las células— hasta que, de nuevo, es dejada en el transportador, en el que sigue avanzando en flujo unitario hasta que pasa frente al siguiente proceso al que deba someterse. Así, la pieza discurre siempre en flujo unitario. Pero, además, cada pieza puede estar sometida a procesos distintos, como ocurre en las implantaciones de tipo funcional; esto se observa en la figura con los dos tipos de piezas que vemos avanzar, la circular y la triangular: cada una sufre una secuencia de procesos distinta.

8.3.1. Agrupación de productos por familias

En la base de la creación y utilización de las células de fabricación encontramos la tecnología de grupos, que permite reunir los productos por familias en virtud de las similitudes de sus procesos y agrupar las máquinas en función de los requerimientos de dichas familias. Los sistemas FMS (*Flexible Manufacturing Systems*) procesan automáticamente —con técnicas computarizadas— productos con similitudes programables por ordenador (en general, de tipo geométrico).

La aplicación de los principios de la tecnología de grupos a la formación de las familias de ítems y células asociadas a las mismas supone seguir tres pasos básicos:

- Seleccionar las familias de productos.
- Determinar las células.
- Detallar la ordenación de las células.

Los dos primeros pasos es frecuente abordarlos simultáneamente. En relación con la agrupación de productos para su fabricación conjunta en una misma célula, habrá que determinar primero cuál será la condición determinante que permita tal agrupación (similitudes de fabricación, similitud en la forma, en el tamaño, etc.).

No olvidemos las ventajas de la producción mediante células flexibles, que pueden reflejarse en un menor coste de producción y una mejora en los tiempos de suministro y en el servicio al cliente. El taller celular, finalmente, facilita al máximo toda la flexibilidad exigible, puesto que puede alcanzarse plenamente en sus dos aspectos:

- Flexibilidad en el producto (gama). Ello se debe a que se trata de producción orientada al proceso —es decir, funcional—, aunque con metodología de orientación al producto. Si alguna ventaja tiene la implantación funcional, es que combinando distintos tipos de operaciones, pueden fabricarse piezas bien distintas... ¡pero, ahora, en flujo!
- Flexibilidad en producción (volumen). La forma en U que adoptan

las células de fabricación permite la reasignación de trabajadores multiproceso y polivalentes, según ya fue expuesto. Con ello, ahora podremos variar, también, la capacidad de producción.

8.4. Operaciones de ensamblaje o montaje en ingeniería de procesos. El montaje con *layouts* de tipo celular

Los procesos de ensamblaje o montaje se llevan a cabo en flujo o cadena de forma generalizada, con el producto avanzando siempre en la misma dirección, ya que, en los modelos de gestión convencionales también suele hacerse así, desde que Henry Ford lo inició con el Ford T en 1913. La alternativa suele ser el montaje en puesto fijo, en que el producto permanece en el puesto, mientras los operarios, materiales, equipos y herramientas se desplazan al mismo. Su empleo está especialmente indicado para grandes productos (ferrocarriles, barcos, aerogeneradores, etc.), aunque cada vez más se extiende, incluso para este tipo de productos, el montaje en cadena, dadas sus innegables ventajas. Además del peso o tamaño del producto, el volumen de producción (si es muy pequeño), las diferencias entre las distintas unidades de producto a ensamblar y el número de operaciones del proceso de montaje (si es muy pequeño) pueden ser otras razones para no ensamblar en cadena.



Figura 8.13. Montaje en cadena, con el producto avanzando por transportador.

Cuando se utilizan cadenas de montaje para productos de gran peso o tamaño deberán resolverse algunos problemas específicos que presenta la situación, para lo que es habitual introducir la operativa desde ambos lados de la cadena (que limita la colaboración de los montadores entre sí), con la posibilidad de mover el producto en la cadena (rotar, subir o bajar, etc.) para disponer la parte del mismo a procesar, a la altura y frente al montador, soportes especiales sobre la cadena para orientar mejor el producto y, el tema más delicado, tener que operar debajo del producto, lo que se debe evitar siempre que sea posible, con dispositivos que permitan voltear el producto.

Así pues, las líneas de montaje, independientemente del modelo de gestión implantado, es habitual que se lleven a cabo en flujo o cadena. La figura 8.13 presenta una línea de ensamblaje en cadena de la industria del automóvil, en la que el producto avanza por medio de un transportador.

Cuando estas líneas de montaje sean muy largas, es corriente dotarlas de stock intermedio, para mantener el equilibrado con los puestos operando sin parar, además del stock de componentes necesarios para iniciar y continuar el montaje. Otra solución puede ser realizar premontajes modulares de cierta complejidad que lleguen al montaje final con muchas tareas ya efectuadas (GM y Ford han adoptado este sistema, pero Toyota, de donde salió el pensamiento que da soporte al *lean manufacturing*, no).

Aun así, la naturaleza de las operaciones de ensamblaje tiene dos aspectos que debemos abordar para determinar el tipo de implantación concreta que llevaremos a cabo: el tipo de flujo que será conveniente para las operaciones de ensamblaje —cerrado en U en las implantaciones *lean*— y la conveniencia de emplear transportadores que den soporte al proceso, como es habitual en el mundo convencional.

La producción en flujo, propia del *lean manufacturing*, encontrará un terreno abonado en las operaciones de ensamblaje o montaje. Pero una vez más, hemos de insistir en que todos los procesos de ensamblaje deben llevarse a cabo en flujo, ya que el mundo convencional tiende a realizar así tan solo aquellos procesos que, por el tamaño del producto y, sobre todo, los volúmenes, es decir, la repetitividad del proceso, entiende que está justificado.

Por su parte, el uso de *layouts* en flujo en los procesos de ensamblaje *lean manufacturing* deberá ser, una vez, más la norma. Estos *layouts* seguirán teniendo

una disposición en U para facilitar la flexibilidad, además de la eliminación de desperdicios, propiciada por la propia disposición en flujo. Las células de montaje en U simple pueden cubrir procesos de montaje que requieran un máximo de seis a ocho trabajadores —dependiendo del tipo de proceso—, que deben estar entrenados a alternar entre distintas tareas según el modelo de producto (especialmente en las líneas de producción multiproducto).

Siguiendo con el montaje celular, cuando éste sea más largo, habrá que utilizar líneas que incluyan varias U simples, con stock (buffers) intermedios, tal como ha sido ya comentado. Toyota, por ejemplo, suele utilizar líneas de veinte estaciones separadas por buffers con cinco unidades de producto. De esta forma, ante un problema en una estación, el trabajador puede detener la operativa —para preservar el equilibrado— parando tan solo una parte de la línea, la que se halla entre dos buffers, uno a cada lado del problema. La ventaja que supone evitar tiempos de paro queda compensada, sin embargo, por el mayor stock en los buffers intermedios, lo que supone que la decisión final ha de ser una solución de compromiso entre el exceso de esperas y de stock.

De acuerdo con lo anterior, otro aspecto característico de las líneas de ensamblaje actuales que operan en *lean manufacturing* es la posibilidad que tiene cada puesto de trabajo de detener la línea ante cualquier anormalidad. Es habitual, para ello, tirar de una cuerda que enciende una señal (*andon*) que avisa al responsable de la línea. La figura 8.14 muestra un esquema de la disposición descrita.

8.4.1. Layout para procesos de ensamblaje en *lean manufacturing*.

Disposición en serpentín

Los procesos de ensamblaje, cuando se opere en *lean manufacturing* y, por tanto mediante células flexibles, se llevarán a cabo en una única célula en U, siempre que el total de operaciones del proceso sea asequibles para uno o pocos puestos de trabajo. Si, además, operan sobre productos con un peso y tamaño que los hagan manejables para los trabajadores, la operativa podrá realizarse sin transportador alguno. Este tipo de procesos se diferencian de las células de fabricación en que, normalmente, no albergarán máquinas y, en su lugar, se dispondrá de herramientas para el montaje.

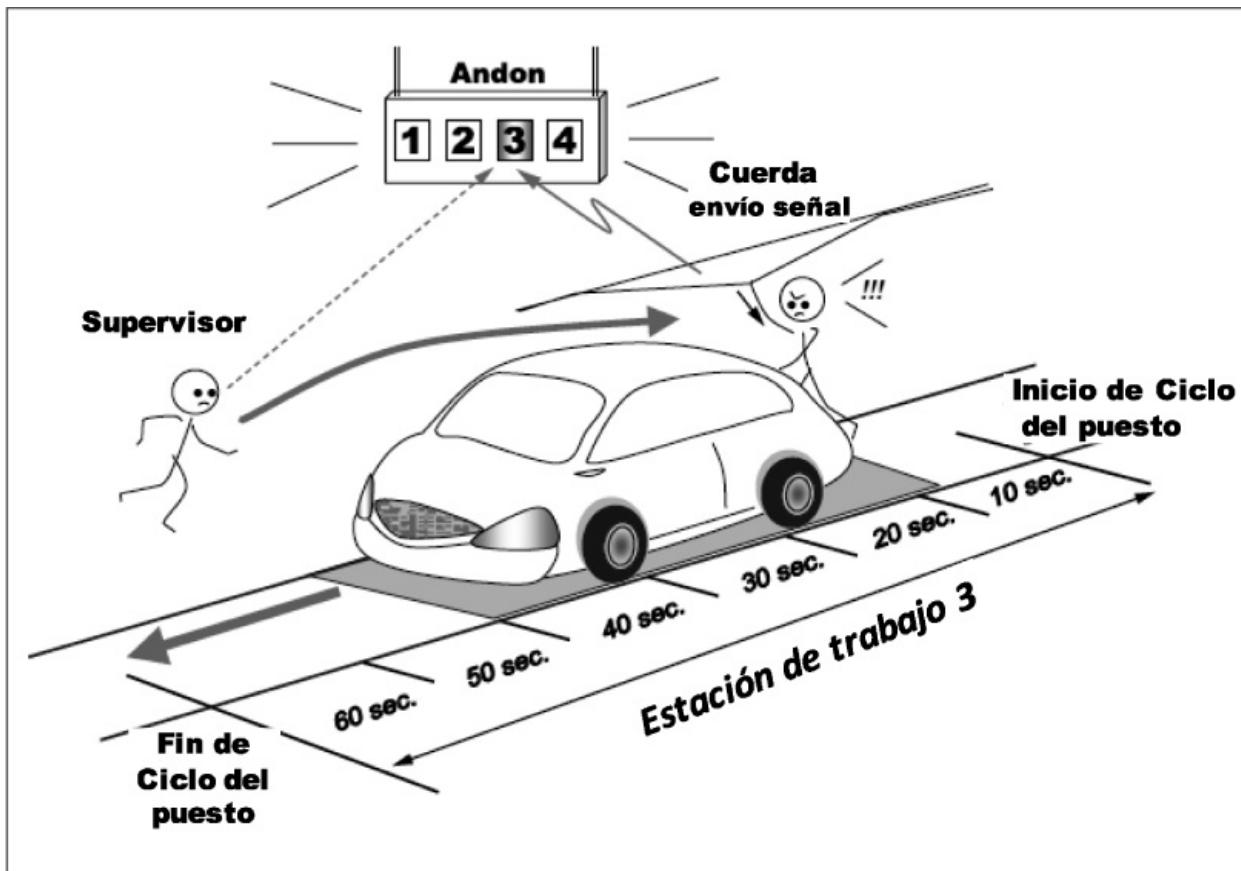


Figura 8.14. Parada de estación de trabajo, con envío de señal Andon informativa.

Más allá de la conveniencia o no de utilizar transportadores —que se discutirá más adelante, aunque el *lean manufacturing* aconseja operar sin ellos siempre que sea posible—, el *layout* en una célula única con una disposición normalizada dependerá del tamaño del producto que ensamblar y de la cantidad de operaciones del proceso. El tamaño influirá en la disposición de los puestos de trabajo y el espacio que ocuparán, además de ajustar también la disposición y tamaño de los sistemas de aprovisionamiento de componentes.

Por lo que hace referencia a la cantidad de operaciones del proceso de montaje, puede ser excesivamente grande para ser realizadas en una única célula, lo que aconsejará utilizar más de una, debidamente conectadas en flujo entre sí. Cada célula deberá contener, como máximo, la cantidad y tipo de operaciones que pueda realizar un mismo trabajador, dado que, aunque puede haber varios puestos de trabajo en una sola célula, si se disponen en *nagare*, cada trabajador realizaría todas las operaciones de la célula.

Una primera posibilidad es la utilización de más de una célula, que se transfieran el producto entre ellas, pudiendo existir un stock en forma de

supermercado o FIFO intermedio, si hay necesidad de ello para preservar el flujo, es decir, la solución habitual de una implantación *lean*. Un ejemplo de este tipo es el de la célula de la figura 8.15 —ya mostrada a raíz del concepto de célula flexible—, que expone el caso de una célula de montaje del sector de la electrónica, cuyo proceso concluye con una fase de control en otra célula conectada con la anterior sin stock intermedio.

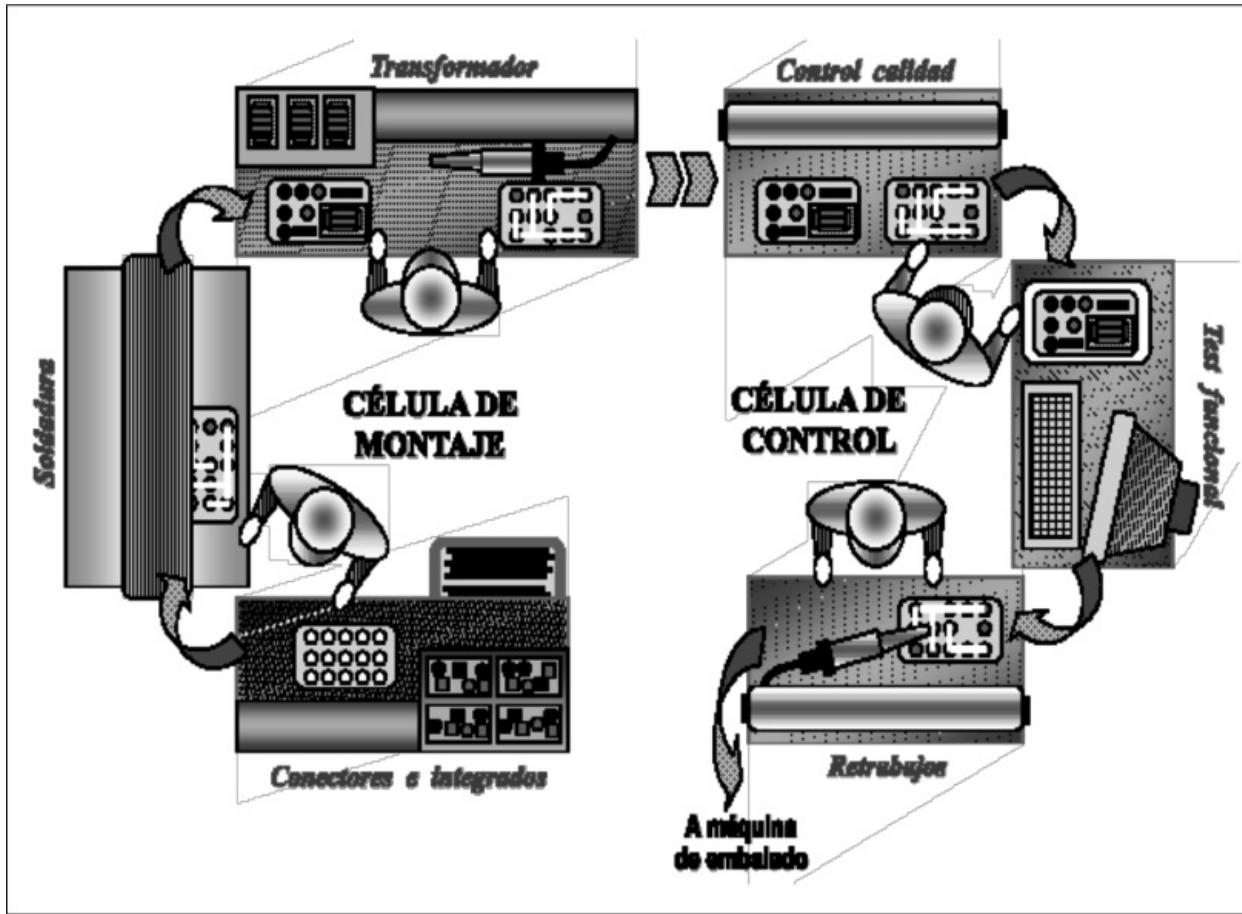


Figura 8.15. Conjunto células de dos interconectadas para un proceso de ensamblaje.

Por regla general, será habitual la conveniencia de utilizar *layouts* para el ensamblaje, integrados por varias líneas en U directamente conectadas entre sí, lo que dará lugar a disposiciones en serpentín, como el que aparece en la figura 8.16.

En estas disposiciones puede también darse la necesidad de un stock intermedio entre cada parte del serpentín constituida por un flujo en U y la siguiente; se trataría del buffer al que antes nos hemos referido, cuya utilidad principal sería no tener que detener toda la línea de montaje ante un problema

que genere posibles interrupciones en el flujo, sino tan solo parar una sección. El stock puede estar en un punto intermedio entre cada dos U, como se ve en la figura (que mantiene cinco piezas entre las U). Sin embargo, es posible que, además, se acumule de forma automática un stock entre dos U consecutivas del serpentín, simplemente por pequeñas diferencias entre los equilibrados de carga de las dos U.

En efecto, el número de los puestos de trabajo de cada una de las U se ha determinado por los métodos que ya expusimos, por lo que, aunque en la figura observamos cinco puestos en cada U, en la de la izquierda podrían ser en realidad 4,5 y en la de la derecha, 4,8 y, en ambos, haber redondeado a cinco, tal como se expuso en su momento. Es decir que la U de la derecha tendría una carga ligeramente superior que la de la izquierda, la que le manda el producto en curso y, con ello, éste se acabaría por acumular entre ambas U al cabo de cierto tiempo.

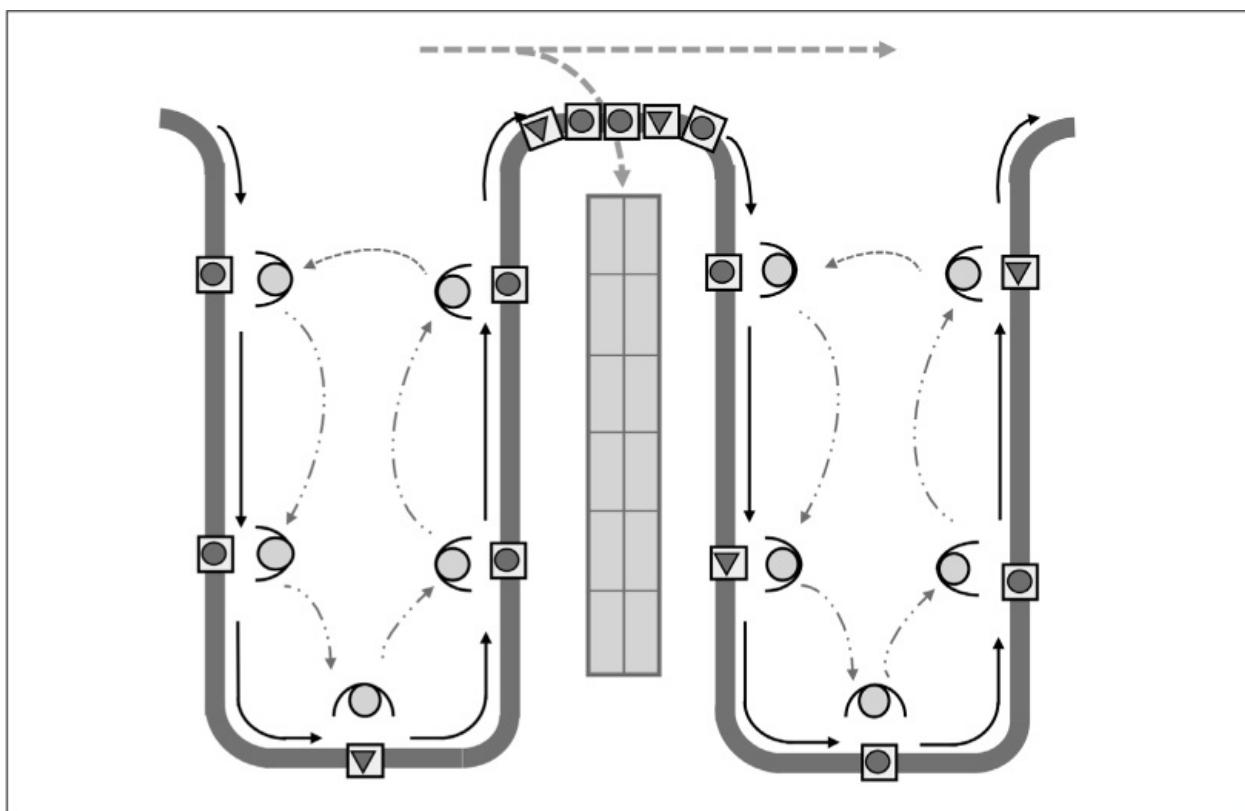


Figura 8.16. Layout en serpentín, para procesos de ensamblaje.

Cuando se acumule demasiado material entre dos U cualesquiera de una línea de montaje en serpentín, sea por la causa que sea, deberemos resolverlo.

La solución no es difícil, si en ambas U se opera en *nagare* (de modo que cada operario efectúa todas las operaciones de la U). Bastaría con acordar que cuando se acumulara una cierta cantidad de producto en curso entre ambas U, un trabajador de la célula de la izquierda pasaría a la de la derecha para desatascar esta acumulación (habría entonces seis trabajadores en la U de la derecha por cuatro en la de la izquierda). Luego volvería a su U anterior y, de esta forma, se podría operar durante mucho tiempo manteniendo el equilibrado global del serpentín.

Un apunte final acerca de los premontajes o ensamblajes previos al ensamblaje o montaje final. Lo más conveniente es que se hallen integrados en lo posible en dicho montaje, cuando no totalmente incluidos en él. Ésta sería la mejor forma de gestionarlos; de llevarse a cabo independientemente, sería conveniente que se programaran con la misma secuencia de órdenes que el ensamblaje final.

En la disposición de los premontajes tiende a utilizarse un *layout* perpendicular al montaje final, siendo así que éste es el enfoque que comporta más inconvenientes; si la cadena de montaje fuera recta, con los premontajes a ambos lados, situados perpendicularmente a ella, la cadena, además de ser muy larga, acabaría por ocupar un gran espacio también en anchura, sobre todo si los premontajes son largos, lo que generaría espacios vacíos y mucha superficie para stock. Lo mejor es que los premontajes discurran paralelamente al montaje principal cuando no en el propio transportador del montaje ,aunque sea en una fase inicial, previa al montaje propiamente dicho, para que los lleve hasta el punto de utilización en el montaje final.

8.5. Traslado del producto en el montaje. Uso de transportadores

Los procesos de ensamblaje o montaje pueden llevarse a cabo en líneas en las que el producto avanza por medio de un transportador, sea de tipo conveyor (tal como una cinta transportadora) o una cadena, movidos por un sistema motriz. Cuando el producto a ensamblar tiene un cierto peso o volumen, que hace difícil su manejo por medio del operario, estos sistemas mecánicos se hacen necesarios, pero para el ensamblaje de productos asequibles a la persona,

puede elegirse utilizarlos o no.

Los sistemas de gestión de corte tradicional tienen tendencia a utilizarlos de todos modos, ya que se piensa que tienden a facilitar la producción en masa altamente especializada. Ello es así porque al moverse el producto sobre el transportador, los operarios no tienen necesidad de moverse, lo que los independiza de los demás y permite que centren sus esfuerzos en realizar las tareas de las que son especialistas. Con ello, no pueden apoyarse mutuamente, pero en este tipo de gestión no importa, ni en muchas ocasiones interesa.

Sin embargo, el *lean manufacturing* no recomienda mover el producto que se está ensamblando mediante transportadores —a menos que por peso o volumen sea indispensable—, sino que prefiere que sea el propio trabajador quien lo haga. Las razones han quedado claras en el párrafo anterior, dado que, con la gestión *lean*, no interesa que los trabajadores se independicen unos de otros y, en cambio, sí que interesa que se apoyen mutuamente; además, el ritmo fijo que imprime el transportador al avance del producto, junto con la especialización si la hay, como ocurre con la gestión tradicional, no facilita que las diferencias de ritmo entre los distintos puestos de trabajo se ajusten, sino que se magnifiquen.

También existe la creencia de que los transportadores, tan utilizados para el ensamblaje de grandes volúmenes de artículos en la producción tradicional, difícilmente se acoplarán sin problemas para producciones de pequeños lotes de una gran variedad de productos. Éstos precisarán cambios frecuentes que supondrán un paro total de la línea para la preparación de un nuevo lote, a menos que se apliquen también aquí técnicas SMED para reducir el tiempo de preparación.

El *lean manufacturing* justifica, además, la no utilización de transportadores, siempre que sea posible, diciendo que generan desperdicios, cuya eliminación, como se sabe, es el objetivo fundamental de esta corriente de gestión. Veamos algunos de los desperdicios que se dice que provocan los transportadores:

- *Favorecen la especialización:*

Los transportadores fomentan que los operarios estén sentados llevando a cabo tareas muy concretas sin moverse (el producto lo mueve el transportador) y, por tanto, favorecen la especialización y la ausencia de ayuda entre ellos y el trabajo en equipo.

- ¿Cómo podría evitarse todo esto cuando el transportador sea necesario? Modificando la operativa, los trabajadores pueden operar de pie, moviéndose al ritmo del transportador y alcanzando la *zona* asignada a otros, para fomentar así actividades en equipo.
- *Provocan manipulaciones innecesarias:*
El producto objeto del ensamblaje tiene que retirarse del transportador, llevarlo al área de trabajo y luego devolverlo al transportador. Si el operario trabaja sentado —lo que favorecen los transportadores—, suele posicionarse mirando hacia la dirección en la que se mueve el transportador, paralelo a él (figura 8.17). En este caso, la recogida y devolución del material al transportador se hace más compleja todavía.
Si el tiempo de ciclo es pequeño, el tiempo perdido en las manipulaciones extras supondrá una proporción mayor del tiempo real empleado en cada ciclo, lo que empeorará las cosas. Con ciclos largos, el problema, por el contrario, no tiene tanta incidencia.
- ¿Cómo podría evitarse todo esto cuando el transportador sea necesario? Cambiando la posición del trabajador se pueden minimizar estas manipulaciones, aunque entonces puede haber dificultades para ubicar la mesa en la que trabaja el operario (mostrada en la figura). La mejor solución es eliminar la mesa y que el operario se sitúe directamente frente al transportador y que lo utilice como lugar de trabajo para llevar a cabo sus tareas (así, no tendría siquiera que recoger y volver a dejar el producto en el transportador), lo que, además, le obligaría a moverse en lugar de estar sentado, a menos que dicho transportador fuera del tipo con avance por impulsos.

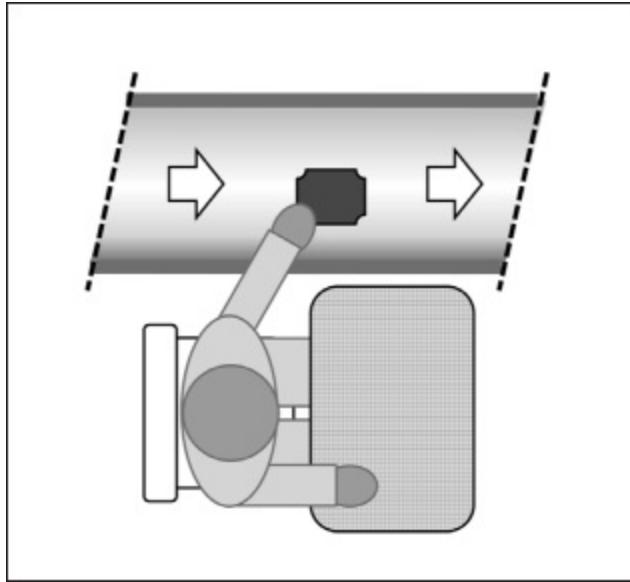


Figura 8.17. Operario paralelo al transportador.

– *Provocan tiempos de espera y stock:*

La velocidad fija de un transportador tiende a hacer más relevante las diferencias de ritmo entre los trabajadores de la línea, forzando además a que la velocidad de avance del transportador sea el del puesto más lento. De ocurrir esto, el desequilibrio existente haría que el resto de los trabajadores tuvieran tiempos muertos o redujeran deliberada o inconscientemente su ritmo de producción; si no se ajustara el ritmo del transportador a los puestos más lentos, se generaría stock en los mismos. De todas formas, con demasiada frecuencia los transportadores sirven para almacenar stock en proceso. Una utilidad que no deberían tener.

- ¿Cómo podría evitarse todo esto cuando el transportador sea necesario? Con los trabajadores de pie, moviéndose y apoyándose podría evitarse el desequilibrio, aun con transportador de por medio. Naturalmente, una distribución correcta y equilibrada de las cargas de trabajo tendería a minimizar los desequilibrios, cuando no a eliminarlos.

– *Favorecen la falta de control de los defectos:*

Se dice que los transportadores facilitan la división del trabajo a ultranza y, con ello, que los defectos que arrastren los productos no se observen si no afectan directamente a la tarea de un productor dado o, simplemente, se ciñe a sus tareas estrictas y deja el control de calidad

para el final.

- ¿Cómo podría evitarse todo esto cuando el transportador sea necesario? Los transportadores favorecen en cierta medida la división del trabajo, es cierto, pero el que cada trabajador se responsabilice de la calidad, finalmente depende de la cultura empresarial y de la instauración o no de un sistema de gestión preventiva de la calidad.
- *Provocan un desperdicio de tiempo en los cambios de preparación:*
Con transportadores en los ensamblajes, es corriente que las preparaciones se hagan parando toda la línea, de forma que todos los puestos realicen el cambio a un mismo tiempo, en lugar de hacerlo uno tras otro y sin parar la línea (técnica que desarrolló Toyota).
 - ¿Cómo podría evitarse todo esto cuando el transportador sea necesario? En el diseño de una planta *lean*, se puede proponer el cambio sucesivo al que acabamos de aludir, en lugar de simultáneo, ajustándolo de forma que pueda realizarse con transportador.

El transportador ideal mueve el producto unidad a unidad, preserva el flujo y la secuencia de producto, mantiene éste orientado convenientemente para facilitar cada tarea de montaje, su movimiento debe ir al compás del *takt time*, lo que facilita que se cumpla realmente, y no debe estar compartido con otros procesos de montaje.

En el fondo de las críticas a la utilización de transportadores, se hallan razones centradas en la inflexibilidad que conllevan o pueden conllevar. Sin embargo, con frecuencia, esta inflexibilidad está muy asociada a las características del modelo de producción en masa, a consecuencia de que los operarios son especialistas y de que el proceso de ensamblaje suele conllevar una manipulación de materiales excesiva, ya que los operarios pasan la mayor parte del tiempo tirando o empujando contenedores, recogiendo y colocando piezas y observando el funcionamiento de las máquinas, en lugar de trabajar para añadir valor al producto. Además, la producción en grandes series se ve facilitada por los transportadores, siempre que la planificación no se proponga lo contrario.

Cierto es que las ventajas que se aprecian con gran frecuencia en los

transportadores favorecen muy directamente el modelo de producción en masa, ya que:

- Presionan para igualar el ritmo de producción.
- Estimulan la especialización.
- Facilitan el aprendizaje acelerado.
- Facilitan la automatización de las operaciones.

Sin embargo, debidamente utilizados y, sobre todo, cuando el peso o tamaño del producto lo exigen, los transportadores pueden ajustarse a un modelo *lean manufacturing*. Recordemos, por ejemplo, la variante en serpentín de la figura 8.16.

Al hilo de esta variante realmente avanzada, recordemos que para realizar actividades de ensamblaje, lo más corriente sigue siendo la utilización de transportadores rectos, de modo que, por muchas razones, es la forma menos adecuada. Así, por ejemplo, si el producto se desplaza sobre soportes, contenedores u otros elementos, éstos deberán ser devueltos al inicio del transportador, una vez finalizado el montaje. Además, la cadena de montaje recta requiere recorrer mayores distancias, tanto para aprovisionarla como para realizar tareas de control. Esta misma distancia aleja no solo físicamente sino también mentalmente a los trabajadores, lo que dificulta la actividad en equipo, cosa que no ocurre u ocurre mucho menos en las cadenas de montaje en serpentín. Otro aspecto negativo de las distancias en el ensamblaje sobre transportador recto es el espacio que acaba ocupando, muy superior al diseñado en serpentín, lo que incluye los pasillos que han de servir a la cadena (mucho más largos), además de hallarse (normalmente) a ambos lados de la cadena recta, mientras que en serpentín, suelen hallarse alrededor del rectángulo que delimita el contorno externo del serpentín completo.

Sin embargo, cuando los montajes son muy cortos (máximo dos puestos), la disposición rectilínea suele ser la mejor. Con más puestos (hasta un máximo de cinco a ocho, según los casos), la forma en una U única puede ser lo más adecuado. Es para montajes con un mayor número de puestos, que la disposición multi-U —el serpentín— puede ser lo más adecuado.

Otro aspectos a distinguir en los transportadores es el tipo de movimiento de los mismos. En este sentido, distinguiremos dos: los que se mueven de

forma continua (no paran nunca) y los que se mueven a impulsos (están parados hasta que debe enviarse el producto al puesto que sigue y recibirlo del puesto anterior). En el transportador continuo, el trabajador ha de desplazarse con él mientras realiza las tareas de ensamblaje, para luego tener que volver al punto inicial de sus tareas, lo que puede suponer una pérdida de tiempo si el recorrido no es muy corto. Además, fija un ritmo único para todos los puestos, con lo que si el proceso no está balanceado, los más rápidos pueden tener que esperar y los más lentos pueden llegar a enviar producto con su tarea inacabada. O esto, o avanzar todos al ritmo del puesto más lento. Un incentivo más para balancear las líneas de producción.

Un último apunte acerca de las cadenas de montaje: su longitud. Debe estar muy bien ajustada a las tareas para que no tenga un evidente exceso de longitud que provocaría, tarde o temprano, un exceso de unidades de producto sobre la cadena distribuidas entre los puestos (aumentando el stock en proceso de cada uno de ellos), un exceso de *lead time* del proceso de montaje, mayor dificultad para las tareas de control, un exceso de superficie ocupada y una inversión económica asimismo excesiva. Muy al contrario, es altamente recomendable estudiar cómo reducir cada vez más la longitud precisada para el montaje en cadena.

Un ratio que puede informar acerca de las posibilidades de reducción es el de unidades de producto totales dividido por el número de puestos de trabajo; el objetivo debería ser de una unidad por puesto, lo que, si el equilibrado o balanceado es correcto, debería ser posible. El ratio nos da la capacidad de reducción de la línea. Además, la presencia de unidades de producto entre puestos y el consiguiente alargamiento de la cadena dificultan la posibilidad de operar en equipo o, simplemente, de que un trabajador menos cargado o más rápido ayude a otro. Por el contrario, el producto en proceso facilita que —con un equilibrado mal resuelto— los trabajadores más rápidos no hayan de esperar a los más lentos. En *lean manufacturing* este stock en proceso puede estar justificado cuando dos puestos contiguos se hallan en *loops* diferentes en el flujo global del proceso. Pero recordemos que el trabajo en equipo puede solucionar mejor estas alteraciones en el ritmo de ejecución de las tareas de cada puesto. Las líneas de ensamblaje con ciclos largos de trabajo son, en general, las mejores candidatas para el trabajo en equipo.

Tras todas estas consideraciones, concluiremos diciendo que si puede evitarse el transportador, la operativa *lean* se ve facilitada sin él, agrupando más

equipamientos y útiles de la línea y llevando a cabo las operaciones pieza a pieza sin acumular existencias entre operaciones, para lo que será necesario agrupar las operaciones de cada puesto, de forma que el tiempo total de cada agrupación (ciclo) sea el mismo. Ello puede llevarnos a distribuciones en planta de los tipos ya descritos para el ensamblaje *lean*, tales como las células de montaje en U, los conjuntos de células en flujo directo y los *layouts* en serpentín. Sin transportador alguno.

No cabe ninguna duda de que así se ganará control, flexibilidad, eficacia e incluso espacio, pues está demostrado que las líneas de producción en U acaban ocupando menos espacio que las cadenas rectas, además de que éstas tiene su final muy distante del principio, lo que dificulta el control y una distribución de tareas en la que la última de ellas sea realizada por el mismo trabajador que la primera.

8.6. Aprovisionamiento de materiales para los montajes

No solo la utilización de transportadores es un aspecto importante a tener en cuenta en la operativa y en la disposición del puesto de trabajo en los montajes. Todos los elementos que integran esta disposición pueden generar mejoras de la eficacia del trabajo de ensamblaje. Así, por ejemplo, los contenedores y las estanterías con material para desempeñar dicho trabajo deben estar a la altura a la que se realiza el mismo y dispuestos de forma que la toma del material se haga con el mínimo movimiento y fatiga por parte del trabajador.

Las estanterías con racks inclinados hacia el puesto de trabajo permiten que el material se deslice por sí solo hacia la parte más cercana al mismo. El pequeño material puede disponerse en contenedores que se deslicen por estanterías inclinadas del tipo que acabamos de describir y el material de mayor tamaño puede disponerse en contenedores fijos, pero igualmente inclinado hacia el puesto de trabajo.

En todos estos casos, la alimentación de nuevos materiales puede hacerse desde la parte trasera, sin interferir en la operativa del puesto de trabajo. Para ello es importante que la cantidad de material disponible para la operativa en el

puesto sea la suficiente para que nunca se agote y, por tanto, cubra sobradamente el lapso de tiempo entre dos viajes de aprovisionamiento. Para ello, deben disponerse en los racks deslizantes tantos contenedores como sea preciso (uno tras otro). Al acabarse el material de uno de ellos, el trabajador lo retira, el siguiente cae por la rampa hasta ocupar la posición del anterior y éste puede evacuarse fácil y rápidamente por medio de otra rampa que vuelva a la parte trasera de la estructura que soporta los racks, que tendrá una inclinación hacia el exterior del puesto de trabajo. Con las otras formas de alimentación de materiales que hemos citado, se actuará de manera similar, siempre ajustada al tipo de alimentación y evacuación que corresponda. La figura 8.18 destaca un ejemplo de aprovisionamiento de materiales mediante rampas deslizantes.



Figura 8.18. Aprovisionamiento de materiales mediante rampas deslizantes.

Variantes de todas estas formas de alimentación pueden ser pequeños transportadores locales que lleven el material hasta el mismo puesto de trabajo o lo lleven al siguiente. También pueden utilizarse contenedores con ruedas u otras soluciones en función de las múltiples variables del trabajo de montaje (tipo de producto y su tamaño y peso, tipo de operación, etc.).

8.7. Automatización de los procesos de ensamblaje

La fabricación está en pleno proceso de integración de sistemas automatizados y/o robotizados con un rendimiento elevado la mayoría de las veces, aunque el *lean manufacturing* aconseja analizar profundamente, asunto por asunto, para no restringir la flexibilidad y generar diversos tipos de desperdicio. Sin embargo, la automatización de los procesos de ensamblaje es, en general, mucho más dificultosa y puede acabar por no generar el aumento de eficiencia previsto, sea porque los trabajadores sigan interviniendo —ahora como supervisores en lugar de operadores—, sea porque se dificulta la calidad garantizada, sea por otras razones.

La automatización eficiente de los montajes puede dificultarse, entre otras razones, por:

- El proceso puede no ser el adecuado o no estar adecuadamente diseñado para ello o, simplemente, tratarse de un proceso susceptible de mejoras y estar impregnado de diversos desperdicios, por lo que debería resolverse y mejorar al máximo el proceso antes de cualquier intento de automatización.

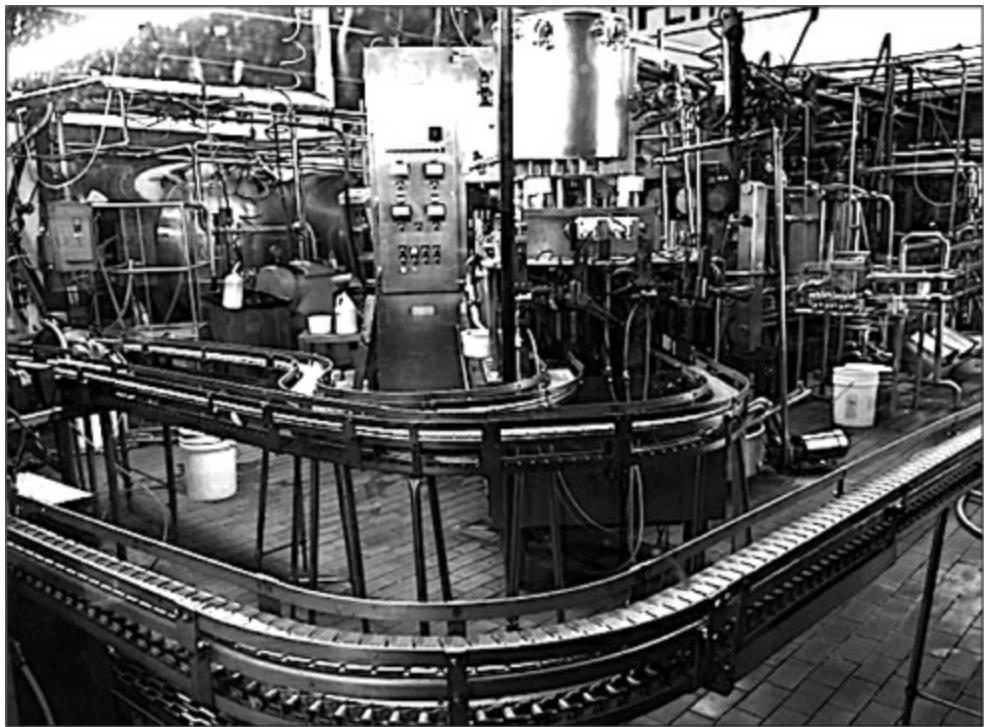


Figura 8.19. Línea de envasado totalmente automatizada.

- El propio producto, cuyo diseño puede no contemplar la posibilidad de un montaje automatizado exento de dificultades.
- La automatización, nada fácil de llevar a cabo en muchas ocasiones, por tratarse de imitar complicados movimientos de humanos.
- La automatización puede acabar por implantarse en tareas que no aportan valor, en una compleja búsqueda de qué tareas pueden ser susceptibles de ello, a tenor de las dificultades que ya hemos enumerado.

Quizás el mejor escenario para alcanzar la máxima eficiencia en la automatización de líneas de montaje es el de pequeños productos, de escasa complejidad y con fuertes volúmenes de demanda que atender.

Un planteamiento basado en la combinación de automatización y tareas manuales puede resultar la mejor opción en muchas ocasiones, tratando de automatizar aquellas tareas, sencillas de por sí, que no ofrezcan dificultades y no comprometan la flexibilidad de la línea de ensamblaje. Podría dar lugar a una correcta versión de la «automatización con toque humano» tan recomendada en el *lean manufacturing*.

Un aspecto determinante para la automatización de las tareas de ensamblaje es, desde luego, el tipo de proceso. La figura 8.19 muestra una línea de envasado de líquidos, muy apropiada para que el proceso sea automatizado en su totalidad.

9

MÁQUINAS EN PROCESOS. JIDOKA

AUTOMATIZACIÓN DE LÍNEAS. SISTEMAS FMS. ROBOTS

9.1. Las máquinas en procesos productivos. Influencia del tamaño

El diseño de procesos, su desarrollo e implementación —de los que la ingeniería de procesos y de planta son responsables— pueden realizarse con enfoques diversos, de los que resultan implantaciones muy distintas, siempre de acuerdo con los principios de gestión adoptados. En este sentido, destaca lo concerniente a la distribución en planta en flujo propia de un entorno *lean*, frente a la distribución *batch and queue* con un enfoque más tradicional.

A lo largo de esta obra ha quedado claro que un aspecto muy importante de la ingeniería de procesos es la elección de la tecnología y las máquinas más adecuadas para cada caso, lo que, para la ingeniería *lean*, se traduce en pequeñas máquinas, simples, exentas de toda automatización innecesaria en relación con el procesado del producto, aunque dotadas de capacidad para detenerse automáticamente ante cualquier anormalidad. Ello supone:

- *Flexibilidad*: limitando la automatización para que no condicione el control del operador sobre el proceso, lo que deja a éste el ajuste del ritmo del mismo a la demanda.
- *Eficiencia*: la capacidad de autocontrol de las máquinas supone evitar fallos de cualquier tipo, pero sin que los operadores tengan que ocuparse de ello.

Tal y como se anticipó en el primer capítulo, esta particular forma de gestionar cuanto se refiere a las máquinas se conoce como *autonomización*, relacionada con el concepto de *jidoka* o *automatización con toque humano*, que implica la utilización de máquinas de forma que su ciclo final sea gobernado por el trabajador —no constituyendo, pues, una automatización total—, con el mencionado objetivo de que éste pueda adaptar el ritmo del proceso a la demanda. También se sustenta en el concepto de *jidoka* que las máquinas paren por sí mismas ante cualquier anormalidad, especialmente si aparecen problemas de calidad.

Todo ello nada tiene que ver con el enfoque tradicional del rol de las máquinas, para el que el objetivo sería elevar al máximo la capacidad de producción y extender la automatización hasta donde sea posible. Asimismo, con este enfoque, no habría ningún interés en tener el control del ritmo del proceso por parte del trabajador, dado que el objetivo es obtener la máxima capacidad de producción y operar de acuerdo con ella.

Así pues, para las máquinas, la capacidad de producción ya no es, en la actualidad, lo más importante, desde el momento que *lean* le da la vuelta al paradigma tradicional: *en lugar de primar la cantidad de producto por unidad de tiempo, le interesa la cantidad de tiempo por unidad de producto*, de forma que se ajuste al ritmo de la demanda; es decir, a la velocidad que exige la demanda y no a la máxima posible. Por ello, lo que realmente interesa de las máquinas es su capacidad de autocontrol (*jidoka*), de cambiar fácil y rápidamente de producto (SMED) y otros aspectos relacionados con la calidad y la flexibilidad, todo ello antes que su capacidad de producción. Pero la flexibilidad —exigida por una demanda que fluctúa— se ve fácilmente afectada por la automatización, que impone ritmos más rígidos.

La reducción de costes que pueden aportar los robots, por ejemplo, es muy posible que sea a costa de la necesaria flexibilidad del sistema y de la no menos

necesaria exigencia de limitar la producción a la demanda. Taiichi Ohno insistió mucho en ello y, además, tachó de moda la implementación de robots en las líneas de producción, al tiempo que consideraba un error identificar la utilización de los mismos con la reducción automática de costes, sin más. Llegó incluso a decir que para qué querían los chinos implementar robots en sus procesos si la población humana del país era tan grande... Pero también admitió que implantarlos estaba justificado si las tareas eran peligrosas.

En los procesos productivos con máquinas, pero exentos de automatización, los operadores se ocupan de cargar y descargar las máquinas con el producto que procesar, así como de su preparación, puesta en marcha y paro. En la medida que los procesos y sus máquinas se automatizan, algunas de estas funciones pasan a ser efectuadas por la propia máquina (por ejemplo, la alimentación de materiales que procesar) y, en consecuencia, el papel del operador se reduce.

Por otra parte, las tareas que los trabajadores realizan con las máquinas puede simplificarse enormemente cuando los procesos se dotan de sistemas que facilitan la operativa y el control de las mismas. Son los sistemas SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*), que mejoran la capacidad de los trabajadores para operar con las máquinas, hasta el punto de que uno solo puede monitorizar todo un conjunto de ellas sin pérdida alguna de capacidad de producción.

Además de la automatización, hay otros factores que influyen en el tipo de máquinas adecuadas para la operativa *lean* que corrientemente se lleva a cabo en células flexibles, en las que solo tienen cabida pequeñas máquinas conectadas en flujo. Este aspecto también tiene, pues, una gran relevancia en relación con el tipo de máquinas usado: la producción en masa tradicional, con implantación en talleres, tiende a utilizar grandes, sofisticadas y costosas máquinas de gran capacidad, que Toyota denomina *monumentos*, claramente incompatibles con la operativa en células flexibles que, además, no precisan la gran capacidad de los monumentos.

Evidentemente, hay procesos que requieren grandes máquinas o equipamientos por una cuestión de tecnología —como pueden ser los tratamientos térmicos— o bien por el tamaño del producto —las prensas de conformación de componentes de la carrocería de automóvil—. Entonces deberán ubicarse aparte, enlazándolas adecuadamente con el resto de los procesos, por ejemplo, con un sistema *kanban*.

Sin embargo, muchas de las máquinas utilizadas en plantas tradicionales de producción en masa son verdaderos monumentos. No es raro, por ejemplo, que una máquina grande cueste más dinero que varias pequeñas que realizan el mismo proceso, incluso, para lograr la misma capacidad de producción; además, estas últimas permitirían hacer un uso flexible de la capacidad disponible, de acuerdo con el número de ellas que se hallen operativas; ello es así porque la variación de la capacidad y, en definitiva, el *takt time*, tiene como consecuencia la variación del número de operadores, lo que puede suponer también la del número de máquinas con las que trabajen.

Asimismo, el mantenimiento de una gran y compleja máquina puede ser mayor que la de varias pequeñas y sencillas. Las grandes máquinas suelen acumular, además, volúmenes elevados de stock, por la forma en que operan y las distancias a recorrer hasta ellas. En efecto, la disposición funcional en talleres obliga a mantener alejadas las operaciones de un mismo proceso, lo que, por otra parte, es obligado cuando se llevan a cabo en una máquina de tipo monumento. Esto conlleva operar con grandes lotes —que generan stock — para reducir el número de transportes.

Las grandes máquinas, en fin, al acumular la producción de diversos tipos de componentes o productos, requieren muchos cambios de preparación, mientras que las pequeñas máquinas, además de cambios más sencillos, pueden precisar muchos menos si se distribuyen los distintos componentes o productos entre ellas que, por tanto, se especializan en determinados productos.

9.2. Las máquinas en procesos *lean*. *Jidoka* y su implantación

Los procesos de producción que triunfan en la actualidad están constituidos, en general, por una inteligente combinación de pequeñas y sencillas máquinas y operadores polivalentes, en procesos que, de justificar cierto nivel de automatización, lo adoptan, según ha sido expuesto, ajustándose al concepto de *jidoka*, es decir, con *inteligencia humana* que permita que sea el operador el que fije el ritmo de producción, pero de forma que las máquinas controlen su propia operativa, parando ante cualquier anormalidad. En este sentido, la automatización de la tarea de la máquina y la descarga del producto procesado

no presentan problemas para el control del ritmo de producción, pero la automatización de la alimentación de una máquina o de la transferencia del producto a otra puede suponer el final del control del ritmo de producción por parte del operador.

El concepto de *jidoka* bien implementado cede a la máquina el protagonismo que el pensamiento *lean* le otorga: eficiencia máxima y, por tanto, ausencia de desperdicios en forma de problemas que no controle por sí misma, que supondrían vigilancia por parte del operador, pero, en cambio, cediendo a éste el control del ritmo del proceso. Taiichi Ohno decía que si el *Just in Time* se podía comparar con las reglas de un deporte (él se refería al béisbol), *jidoka* sería la inteligencia, técnica y capacidad para jugarlo eficientemente.

Así pues, el control autónomo o *jidoka* puede llegar a dotar a las máquinas de sistemas para arrancar y parar e informar automáticamente de su situación, a fin de evitar tiempos improductivos. Bajo el control autónomo, una máquina debe parar por sí sola si se halla en una situación que le impida continuar la operativa correctamente, incluidos muy especialmente los fallos de calidad. Ello se completa instalando luces de diferentes colores en las máquinas, en un lugar muy visible, de forma que si está encendida la luz verde, la máquina no requiere ninguna atención, mientras que si se enciende la roja, la máquina ha parado y la requiere.

Por su parte, el control del ritmo de producción que hemos acordado que ha de mantenerse en manos del operado, se traduce para las máquinas en un tiempo de paro ajustado a dicho ritmo, es decir que al tiempo de ciclo generalmente fijo de una máquina, se le ha de añadir un tiempo de paro de la misma hasta que llegue el operador y vuelva a ponerla en marcha. Así, si el *takt time* es de tres minutos y éste es el tiempo que tarda un operador en volverse a ocupar de una máquina, aunque ésta tenga un ciclo de dos minutos, habrá de esperar otro minuto antes de que el operador la ponga de nuevo en marcha y complete así un ciclo de tres minutos, ajustado al *takt time*. Es decir que operando en *lean* se prioriza el equilibrado y la flexibilidad a forzar que la operativa de las máquinas se realice a plena capacidad.

Asegurar la producción en condiciones correctas y sin defectos de calidad nos lleva a comentar también las actividades realizadas por las personas; en este apartado destacan como técnicas especiales en la gestión *lean* los sistemas denominados *poka-yoke* (dispositivos antierror). Así, por ejemplo, supongamos

que una pieza debe insertarse dentro de un útil, pero puede hacerse por el lado correcto o por el opuesto; un pequeño mecanismo intercalado entre la pieza y el útil que evitara automáticamente la introducción incorrecta sería un dispositivo *poka-yoke*¹.

Finalmente, y dado que las máquinas dotadas de autocontrol que hemos expuesto operan en el entorno *lean manufacturing*, es natural que se implanten en procesos organizados en células flexibles, en los que se prioriza el equilibrado y la flexibilidad a la operativa de las máquinas a plena capacidad, que no es el objetivo para este enfoque de gestión.

La operativa mediante células flexibles que incorporan máquinas dotadas de autocontrol permite alcanzar mejoras muy importantes en:

- La productividad y flexibilidad de los operadores (que atienden varias máquinas y se ajustan al *takt time*).
- El *lead time* (por operar en flujo unidad a unidad).
- El WIP o stock en curso (por la operativa en lotes pequeños, en flujo unitario y el balanceado de la línea).
- Otros aspectos tales como la calidad y la superficie ocupada.

9.3. Tipología y características de las máquinas de procesos industriales más usuales

El desarrollo de los procesos requiere, en mayor o menor medida, máquinas y equipos de producción, que dividiremos en tres categorías:

- *Máquinas y equipos* que procesan los materiales de forma *no automática*, manejadas por el operador, que las prepara, pone en marcha, efectúa todo cuanto requieran y las para.
- *Máquinas y líneas de producción completas* que operan *automáticamente*, de modo que el operador solo ha de prepararlas y, en función de si la alimentación y descarga son asimismo automáticas, habrá de encargarse también de estas funciones.
- *Robots y manipuladores*, que suponen un paso más en la automatización de operaciones, pueden efectuar tareas productivas, de manipulación

(por ejemplo, además de una operación, la alimentación y descarga citadas anteriormente) u otras, encadenándolas de acuerdo con un plan preestablecido. En general, se trata de sistemas electromecánicos gobernados por un programa informático (software) o por un circuito electrónico (hardware).

Vamos a ocuparnos en este capítulo de dar una visión general de las tres categorías de máquinas y equipos productivos. En este epígrafe, presentaremos diferentes tipos de máquinas y equipamientos para distintas aplicaciones y clases de trabajo industrial y mostraremos las características generales de cada una. Al abordar las otras dos categorías, ya no particularizaremos en el tipo de trabajo que efectúan las máquinas y equipos de producción, dado que la novedad que presentan dichas categorías es el nivel de automatización, que es en lo que nos centraremos.

Dividiremos los procesos —cuyas máquinas describiremos de una forma general y forzosamente resumida— en tres grandes grupos que comprenden las más utilizadas: procesado de *acero y otros metales* (mecanizado, fundición, etc.), procesado de *materiales plásticos* (inyección, moldeo, etc.) y procesos de tipo *electrónico* (componentes, circuitos, etc.). Nos ocuparemos también de los útiles o *utillajes* para posicionar y fijar las piezas en las máquinas correctamente y en el mínimo tiempo. Asimismo, nos ocuparemos de los procesos relacionados con los tratamientos a efectuar sobre los materiales (tratamientos térmicos, templado, etc.).

9.3.1. Maquinaria, equipos e instalaciones para acero y otros metales

Los procesos más extendidos con este tipo de materiales son los de *mecanizado* mediante *máquinas-herramientas*, que responden a dos tipos: las que no separan material, solo cambian la forma (como las prensas), y las que sí lo hacen. Estas últimas pueden, a su vez, clasificarse según la cantidad de material separado: grandes fragmentos (las tronzadoras y cizallas), viruta normal (tornos y fresadoras) y viruta fina (rectificadoras y desbarbadoras). Según el tamaño de la viruta, además, puede tratarse de una operación de *desbaste* o de *acabado*.

Las herramientas de las máquinas que separan viruta pueden realizar movimientos rectilíneos o circulares y con una sola herramienta o varias, que

puede ser de aceros especiales, otros metales duros y diamante. El ángulo de ataque de la herramienta es una característica muy importante, así como la velocidad de corte, la profundidad de dicho corte y la franja de metal que arrancan en una sola pasada que define lo que se llama *avance*.

Por lo que hace referencia a los materiales que mecanizar, el acero, de distintos tipos, es el más corriente, aunque también se mecanizan otros metales e, incluso, materiales plásticos. No todos los materiales se comportan de la misma manera en este tipo de procesos, pero esto suele resolverse eligiendo bien el tipo de máquina. Por otra parte, los materiales pueden venir preparados de diversas maneras: perfiles laminados de distintos formatos, fundición, forja, etc.

Las máquinas para realizar operaciones de mecanizado más usuales, comenzando por las que operan arrancando material en forma de viruta, son:

- *Limadora*: empleada para obtener superficies planas (normalmente pequeñas), mueve una sola herramienta, perpendicular al plano de avance, en línea recta, y efectúa un movimiento de corte.
Consta de una bancada de soporte general, un carro con movimiento rectilíneo alternativo que tiene la herramienta de corte en un extremo y, finalmente, la mesa en la que se fija la pieza que se va a mecanizar, que puede haber recibido un *trazado* previo del limado. Una variante de esta máquina opera verticalmente y su proceso es el de *escoplear*.
- *Cepilladora o planeadora*: no deja de ser también una variante de la limadora, pero, en ella, quien avanza es el material a planear y no la herramienta que solo efectúa el avance. Su aplicación más importante es obtener superficies planas de grandes dimensiones, para lo que la mesa sobre la que está la pieza que se cepilla suele ser de grandes dimensiones y se mueve —ya que la pieza ha de hacerlo— normalmente sobre guías de tipo prismático.
La herramienta va sujetada de forma similar a la limadora.
- *Torno*: máquina que también opera cortando y separando material de la pieza a mecanizar, pero, en este caso, la pieza gira alrededor de un eje, de lo que resulta un mecanizado cilíndrico, cuyo diámetro depende de la distancia de la herramienta al eje de giro de la pieza.
Ésta es la que se mueve (girando) y la herramienta está fija y solo tiene

el movimiento de avance. El torno más corriente es el denominado *paralelo*; otros, ya son *especiales*. La figura 9.1 presenta un torno paralelo, con la torreta para fijar la herramienta (en el centro) que avanza horizontalmente sobre la bancada, mientras la pieza a tornear se fija entre los extremos de la línea punteada —desde el cabezal hasta el contracabezal— en sendos soportes montados sobre rodamientos, para que la pieza pueda girar. Uno de estos soportes es fijo (en la figura, a la izquierda) y otro desplazable, según la longitud de la pieza a tornear. Los tornos, como en otras máquinas para mecanizar, precisan una velocidad variable, para ajustarla a los requerimientos del trabajo, lo que se logra mediante poleas escalonadas o engranajes que normalmente están en el cabezal. También ha de lograrse que la torreta portaherramientas avance a la velocidad adecuada, que se consigue mediante engranajes u otros sistemas, desde el eje del cabezal (a veces, el avance es manual).

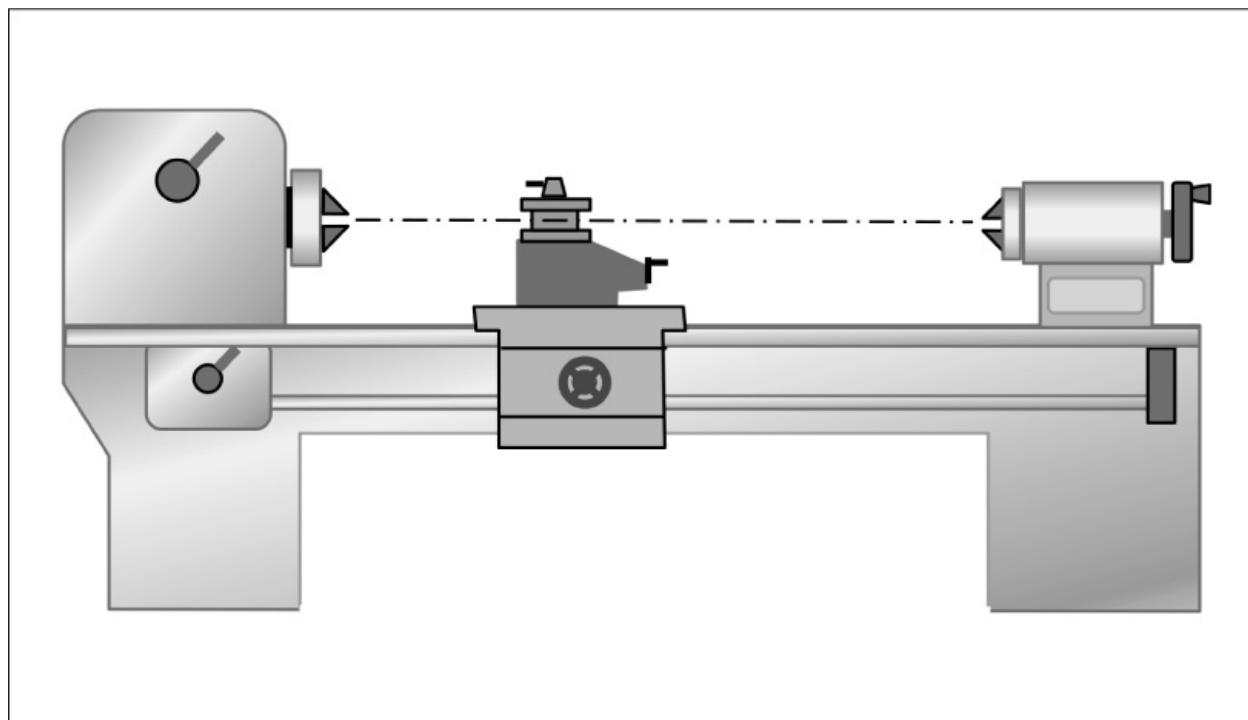


Figura 9.1. Torno paralelo y sus elementos principales.

- *Roscado* (en torno): los tornos más completos pueden efectuar operaciones de roscado, para lo que el avance de la herramienta se efectúa con un eje de roscar, distinto del eje de cilindrar para las

operaciones de torneado liso. La herramienta de roscar puede ir, como es normal, en el portaherramientas de la torreta, pero también puede hacerse el roscado mediante machos o terrajas situados en la contrapunta del eje de giro de la pieza, con un paso de rosca, sea macho o hembra, correspondiente al de la pieza a roscar.

- *Fresadora*: es una máquina herramienta que, como las anteriores, arranca viruta de una pieza, normalmente plana, para darle la forma que convenga. Opera al revés que el torno: la herramienta —llamada *fresa*— es circular y gira y, en cambio, la pieza no se mueve girando, sino sobre un plano.

La figura 9.2 muestra un esquema de una fresadora *horizontal*, en la que se aprecia, en la parte superior, la herramienta (fresa) que gira sobre un eje *portafresas*. En la parte inferior se halla la *ménsula* sujetada a la bancada de la máquina y, sobre ella, se apoya la *mesa* que, a su vez, soporta la pieza a mecanizar, mediante unas ranuras que lo facilitan. La ménsula se desliza verticalmente y la mesa horizontalmente, de forma que pueda colocarse la pieza en la posición deseada.

Si el eje portafresas fuera vertical, con los demás elementos cambiados para ajustarse a este diseño, estaríamos hablando de una fresadora *vertical*.

La fresadora *universal*, por su parte, se distingue por que la mesa puede girar alrededor de un eje vertical y desplazarse sobre el mismo. Así, la mesa puede llegar a tener hasta tres movimientos: longitudinal, transversal y vertical, frecuentemente automáticos, que permiten que el surco que efectúa la herramienta tenga la forma y dimensiones deseadas.

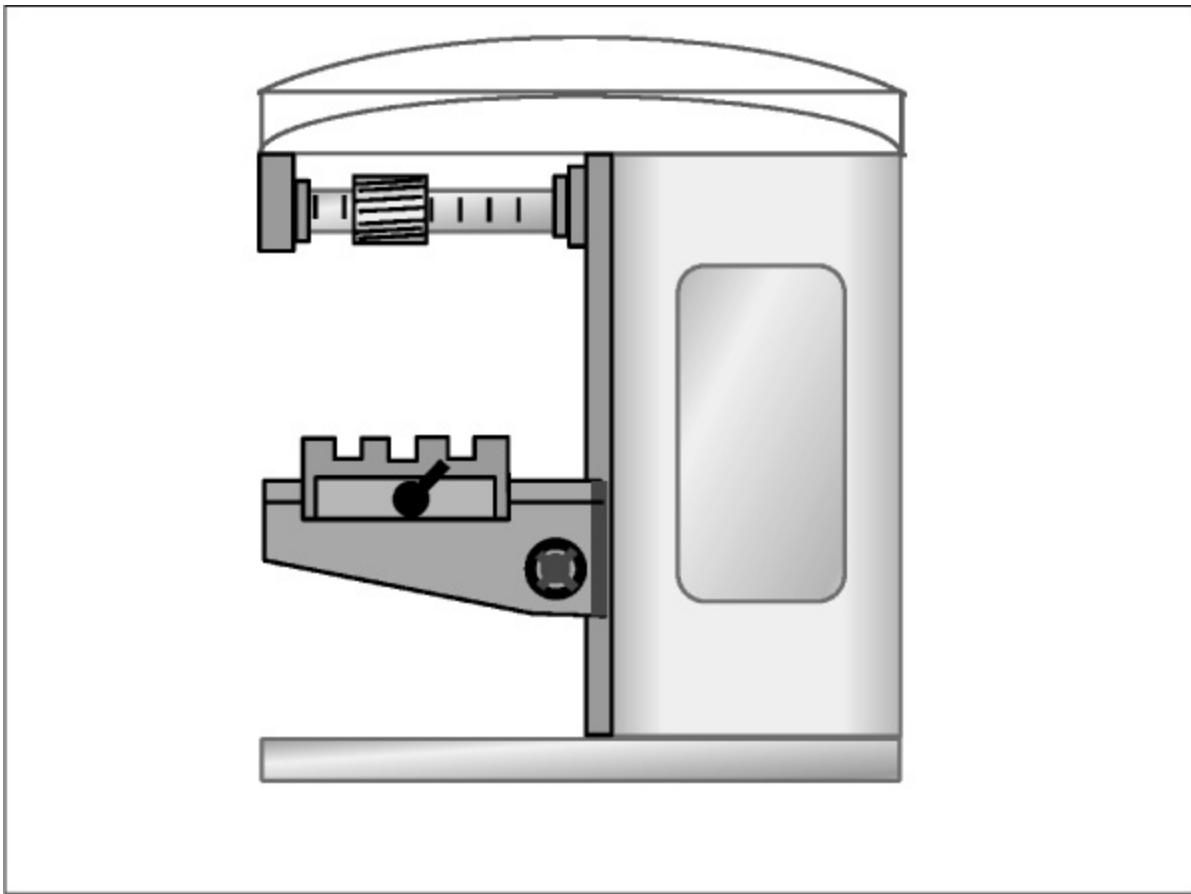


Figura 9.2. Fresadora horizontal. Elementos básicos.

- *Mandrinadora*: máquina que se utiliza para la mecanización de agujeros de grandes dimensiones. Su operativa es similar a la fresadora y se distingue de ella por el hecho de que la herramienta (*mandril*) —aunque pueden usarse también fresas— de forma cilíndrica tiene una cierta excentricidad respecto a su eje, para que al girar éste vaya deslizándose por el interior del agujero a mecanizar.
- *Taladro*: utilizado para realizar agujeros en piezas que los precisan, de diversos diámetros, utilizando como herramientas *brocas* del diámetro adecuado. Son máquinas con una bancada en la que se soporta una mesa, sobre la que se fija la pieza a taladrar. La herramienta está encima, perpendicular a la mesa, y el taladro se efectúa a medida que la broca gira y avanza a la vez. Las brocas son de materiales diversos, aunque las más corrientes son de acero, pero para materiales especialmente duros se utilizan las de *widia*. Los agujeros realizados con una broca pueden repasarse con un

escariado para dejarlos a la medida exacta y con un acabado de gran finura. La herramienta es el *escariador* y puede usarse a mano o en lugar de la broca en un taladro.

- *Rectificadora*: utilizada para realizar acabados de gran precisión en la superficie de piezas por medio de *muelas*. Además de su utilidad para lograr un acabado de gran finura, se emplean rectificadoras para mecanizar superficies muy duras o materiales templados, de forma que no sería posible mecanizar por arranque de viruta. Depende del tipo de rectificadora, puede desplazarse la mesa portapiezas o el árbol portañuelas, y este movimiento puede ser automático.

Veamos a continuación algunas máquinas que operan sin arrancar material:

- *Máquinas de cortar: sierras y tronzadoras*. Se utilizan para cortar piezas (cuando no se hace con una sierra manual) en dos o más trozos, y en la tronzadora se pueden hacer cortes en ángulos diversos. Las sierras pueden ser alternativas para cortes rectos o especiales para cortes siguiendo formas acordes con un patrón.
Una variante es el *oxicorte*, con el que se cortan piezas mediante un soplete de gas y se proyecta su llama sobre el metal a una temperatura muy elevada; el soplete es muy similar a los de acetileno que expondremos más adelante, a propósito de la soldadura.
- *Prensas*: su cometido se halla comprendido en lo que se conoce como *forjado*, que consiste en dar forma a un material metálico, cosa que puede hacerse manualmente, lo que no resulta apto para piezas grandes o que requieren un gran esfuerzo y costoso, sobre todo si se trata de hacer toda una serie. Según el tipo de conformación que se busca al material —corrientemente, una plancha de acero plana—, las prensas son de tipos distintos.
El trabajo de forjado que efectúan las prensas se consigue por aplicación de una fuerte presión. Esto también se puede realizar a base de golpes, en máquinas conocidas como *martinetes*.
La presión ejercida por las prensas para conformar piezas suele ser de tipo hidráulico (véase figura 9.3), aunque también las hay mecánicas. En las prensas de estampación y en las de embutición (que se

distinguen por la profundidad del forjado efectuado, como una puerta de automóvil las de estampar y una olla las de embutir), la pieza —una chapa plana— se dispone entre una matriz y una contramatriz, ambas con la forma del negativo de la que se pretende en la pieza. La presión ejercida por la prensa aplasta la pieza entre matriz y contramatriz para dar la forma final que se pretende en un solo golpe y, por tanto, en un tiempo mínimo.

Las matrices suelen ser de acero moldeado, reforzadas con anillos de acero previamente forjado. Construir matrices es un trabajo delicado y a menudo costoso y constituye toda una especialidad, conocida como *matricería*.

Piezas de cierta complejidad no pueden lograrse en una sola operación de prensa, sino en varias realizadas escalonadamente. En cada una de ellas habrá de construirse las correspondientes matrices.

Otra variante de operación de prensa es la que efectúa cortes de formas variables y, frecuentemente, irregulares, y emplea herramientas como *troqueles* (de cortar), adecuados a la forma del corte que se realiza. Es frecuente utilizar este tipo de operación para quitar rebabas o el sobrante de material de piezas previamente estampadas.

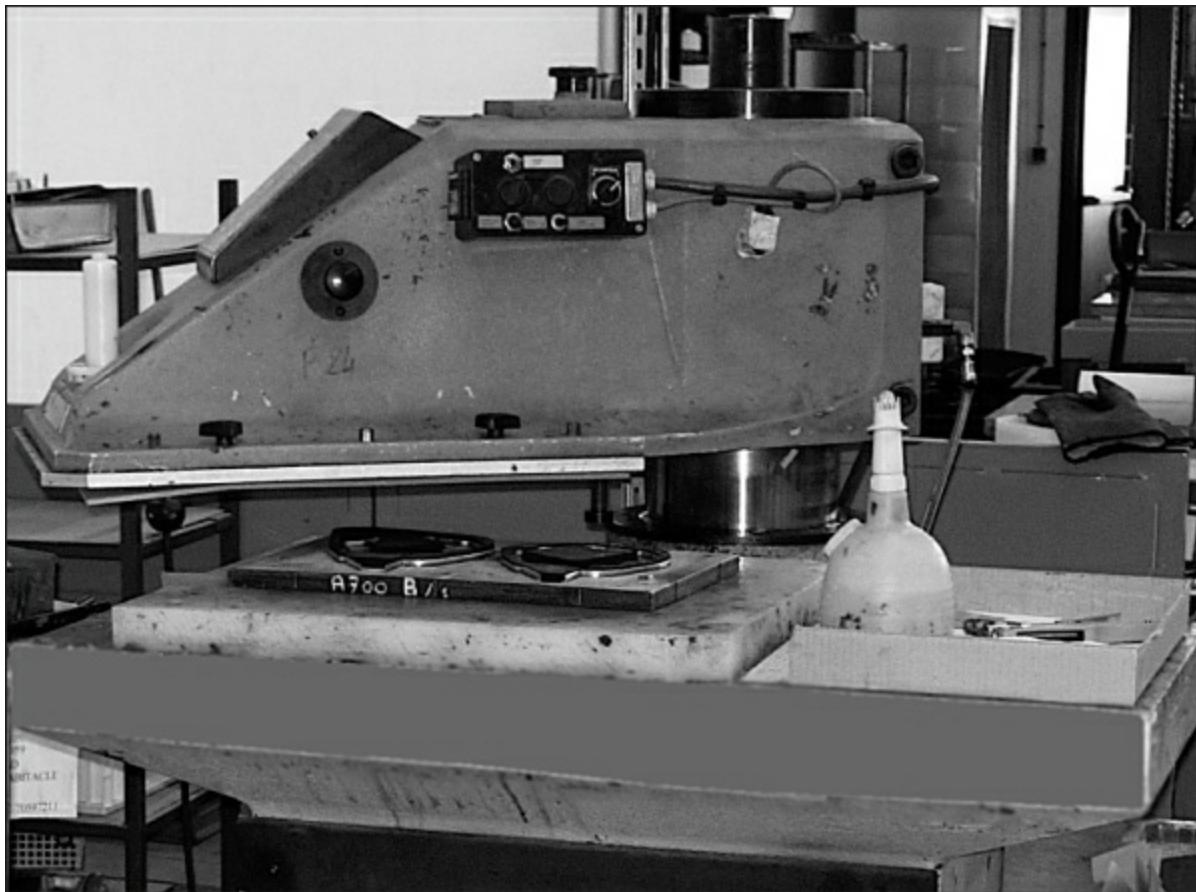


Figura 9.3. Prensa hidráulica para corte.

- *Laminación*: consiste en obtener barras y chapas metálicas, de secciones de distinta geometría, pasándolas por sistemas de cilindros giratorios de acero fundido que las conforman mediante presión. La figura 9.4 muestra cómo estos sistemas van dando forma a un perfil, que avanza por la rotación de los cilindros (arriba) o por el empuje del perfil (abajo).

De hecho, la forma definitiva del perfil se logra pasándolo por varios de estos sistemas de cilindros, uno a continuación de otro, por lo que este tipo de maquinaria se conoce como *trenes de laminación*. Los cilindros de dichos trenes son lisos o bien acanalados; éstos se utilizan para conformar perfiles de diferentes secciones, a partir de chapa plana. Hay trenes especiales para fabricar tubos a partir de chapa plana, doblándola hasta que se cierra y soldando los bordes. Cuando los tubos han de soportar presión, se fabrican a partir de una barra maciza en la que, en caliente, penetran mandriles de forma cónica que van

abriéndose camino hasta dejar en hueco del diámetro deseado.

Otro producto típico de laminación es el alambre que, si es muy fino, se obtiene mediante una variante que se conoce como *trefilado*.

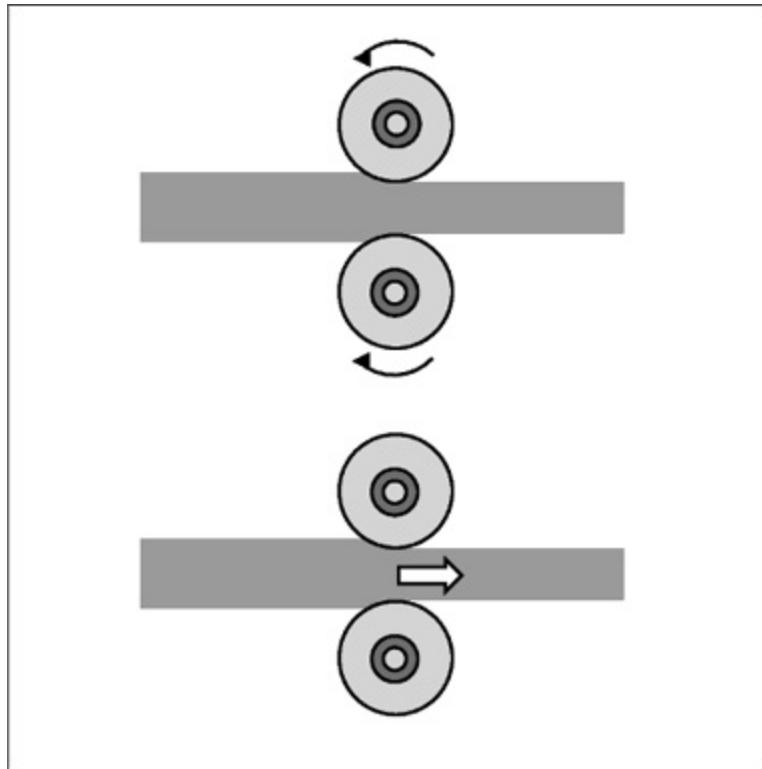


Figura 9.4. Sistemas de conformación de perfiles de los trenes de laminación.

- *Curvadoras*: máquinas dedicadas a doblar chapa pasándola por trenes de cilindros de doblado, dispuestos de forma que la chapa haya de seguir una trayectoria curvada. Normalmente, son tres cilindros, de los que dos sirven de apoyo de la chapa y, el tercero, situado encima, se hace bajar lo que convenga para que la chapa reciba la curvatura prevista. Esta técnica se utiliza también para obtener *rebordeados* de distintos formatos en las chapas.

Basándose en un principio similar, funcionan las *dobladoras de tubos* mediante esta técnica de tres cilindros que no son planos, sino con hendiduras circulares, cuyo diámetro es el del exterior del tubo a doblar. Cuando este diámetro es grande, se rellena el tubo con arena para que no se aplaste al doblarlo.

Como complemento de la exposición de las máquinas más comunes para fabricar piezas mediante procesos de mecanizado, citemos brevemente las

correspondientes al mecanizado mediante técnicas especiales para casos concretos:

- *Mecanizado con herramientas abrasivas*: obtenido aplicando discos de material abrasivo sobre la superficie de una pieza, con gran frecuencia mecanizada mediante alguna de las máquinas descritas anteriormente o tras una soldadura.
- *Electroerosión*: mecanizado de una pieza metálica, de la que se desprende el material sobrante por medio de una fuerza electromotriz aplicada entre la pieza y un electrodo que se halla sumergido en un líquido con propiedades dieléctricas (un tipo concreto de aislante de la corriente eléctrica).
Este tipo de mecanizado se utiliza, con gran frecuencia, para la fabricación de útiles, tales como moldes y matrices, usualmente, de acero.
- *Mecanizado térmico* mediante una concentración de energía calorífica en una zona concreta de la pieza a procesar, con el resultado de fundir una parte de la misma que se evapora, sin afectar al material colindante. La herramienta es frecuentemente de tipo soplete. Operaciones de este tipo son el *oxicorte*, el corte con *plasma* y la mecanización mediante *láser*, que permite realizar operaciones de corte y mecanizado de gran precisión.
- *Mecanizado por ultrasonidos*: basado en la aplicación de ondas de frecuencia ultrasónica obtenidas con un dispositivo *magnetoestrictor* y una corriente alterna de la misma frecuencia que las referidas ondas. Las vibraciones del citado dispositivo se transmiten a una herramienta.

Hasta ahora nos hemos ocupado de la fabricación de piezas o componentes sueltos, pero lo corriente es que haya que *unirlos entre sí* para lo cual, aparte del *atornillado, roscado y el roblonado con remaches* (en los que no vamos a entrar), una técnica muy importante es la:

- *Soldadura*: que consiste en la unión de dos piezas metálicas mediante calor, que dan lugar a una única pieza sin solución de continuidad. Hay dos tipos de soldadura: la que logra la unión de las dos piezas

mediante la *aportación de un metal distinto* del que ha de soldarse y la que logra la unión *actuando directamente* sobre las piezas de metal que soldar. El primer tipo puede efectuarse mediante la fusión con un metal blando, como el estaño, para dar lugar a una pieza poco resistente, mientras que si se efectúa con metales cuyo punto de fusión es elevado, el cobre o latón, la soldadura es fuerte.

Por lo que hace referencia a la unión directa de las piezas que soldar, los dos sistemas más empleados son la soldadura autógena y la soldadura eléctrica. La *soldadura autógena* se hace aplicando un soplete de gas a la unión de las piezas que se van a soldar; el gas es, normalmente, acetileno, que se inflama a 350 grados con una llama muy luminosa que obliga a usar gafas protectoras muy oscuras. Según el espesor de las piezas, ha de cambiarse la boquilla del soplete. Éste se halla unido por tuberías a sendas botellas con el gas acetileno (si es el usado) una y oxígeno la otra.

Si las piezas tienen más de cinco milímetros de espesor, han de estar chaflanadas en los extremos que se unirán y dejar una abertura en V para que penetre la acción del soplete.

Este tipo de soldadura es más adecuada para aceros con bajo contenido en carbono, pues con el calentamiento hasta el rojo, se pierde contenido de carbono. También se pueden soldar otros metales, como el cobre o el aluminio.

La *soldadura eléctrica* se logra también aplicando calor, pero por medio de dispositivos eléctricos, de los que el más corriente es el basado en la generación de un *arco voltaico*, que acerca, pero sin tocarse, la pieza y el dispositivo de soldadura, conectados a un circuito eléctrico. El acercamiento hace saltar el arco y se cierra el circuito, que genera una temperatura de unos tres mil grados. El dispositivo que se acerca a la pieza lleva un electrodo que se va fundiendo a medida que progresá la soldadura, que puede ser de carbón, pero habitualmente es de algún metal y generalmente recubierto para su protección de la oxidación; cuando el electrodo es metálico, hace aportación de metal a la soldadura.

Un aspecto importante es la distancia entre el electrodo y la pieza, distancia en la que salta el arco voltaico. Si se consigue que sea pequeña, la soldadura resulta de mayor calidad.

Es conveniente que las piezas que se vayan a soldar tengan los bordes chaflanados, siempre que su grosor supere los cinco milímetros.

Para concluir lo relacionado con la maquinaria y equipos para el proceso de piezas metálicas, expondremos brevemente los destinados a obtenerlas directamente por medio de la *fundición y tratamientos térmicos de hierro, aceros y otros metales*:

- *Fundición de hierro y aceros en hornos*, normalmente eléctricos, para luego conformarlos en moldes al efecto. Los hornos pretenden:
 - Obtener el material férreo en estado líquido para que así pueda adoptar la forma que se quiera al vaciarlo los moldes adecuados.
 - Lograr, por adición de ingredientes, diversas clases y calidades de materiales férreos, al principio, durante o después de la fusión.

La figura 9.5 presenta los elementos básicos de un horno de fundición: una cuba de acero forrada interiormente con cemento refractario, ladrillos refractarios y una solera de granulado prensado (por ejemplo, de caliza y arena). Visible en el centro de la cuba, puede observarse una boca de entrada de carga y adiciones, así como para operaciones como el escoriado, extracción de muestras, etc. Justo debajo se ubica la boca de salida del material fundido. En la parte superior se halla una tapa de material refractario debidamente refrigerada, con entradas para introducir los electrodos que, mediante arco voltaico, producen el calor necesario para la fusión de la masa metálica. Durante el proceso de fundición, los electrodos suben y bajan automáticamente para que estén cerca del metal para fundir, sin tocarlo, y así salte el arco debidamente. También se mueven para apartarlos cuando convenga.

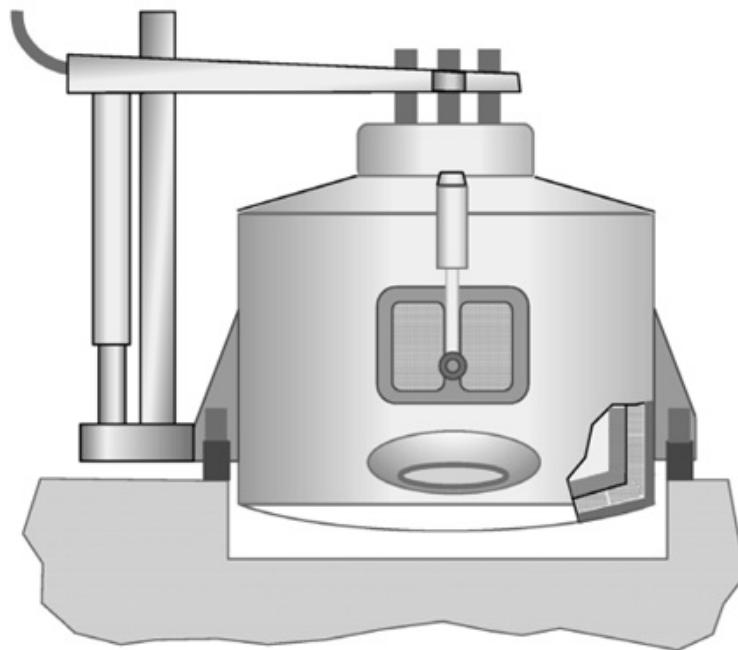


Figura 9.5. Horno eléctrico de fundición. Elementos principales.

Los materiales que cargar en el horno varían, sobre todo si se trata de un acero o de hierro colado. Así, para el hierro colado es corriente añadir grafito, fosforo y *lágrimas* (sobrantes que rebosan en los moldes al llenarlos de la colada). Como se comprende, en las lágrimas hay toda clase de materiales férreos. Para desoxidar el baño se pueden añadir barras de aluminio y ferrosilicio. Finalmente, hay que removerlos materiales dentro del horno.

La escoria que se forma sobre el baño debe extraerse, cosa que puede facilitarse con cal y carbón, que se combinan químicamente con ella. En el acero, solo se saca la primera escoria —mala—, pues al verter el caldo precisa la capa de escoria encima para que no se enfrié rápidamente. No así el hierro colado, que se enfriá más lentamente. Finalmente, dicho caldo se vierte en moldes donde, al enfriarse el material fundido, adopta la forma que convenga. Es realmente ventajoso obtener directamente piezas de hierro o acero por medio de la fundición y moldeo, ya que resulta mucho más fácil dar la forma adecuada de este modo que hacerlo mediante forjado u otro sistema, sobre todo si la pieza tiene una geometría compleja.

- *Moldeo del material fundido* que incluye la fabricación del *modelo* y de los *moldes*. El modelo es una reproducción exacta en diversos materiales (madera, yeso, aluminio, etc.) de la pieza que se va a fabricar en acero. Su misión es ocupar en la construcción del molde el lugar de la pieza, para que una vez concluido éste, se extraiga el modelo y su lugar lo ocupe el acero líquido que, por tanto, tomará la forma del modelo. Los materiales con los que se fabrica el molde han de ser refractarios, dúctiles, con dureza en su forma final, de fácil desmenuzamiento una vez la pieza de hierro o acero se haya enfriado y que desprenda pocos gases al recibir el caldo, lo que puede lograrse con arena y ciertos tipos de arcilla.

El moldeo se puede efectuar a mano o a máquina. Se trata de, en una caja, cubrir el modelo con los materiales que conformarán el molde y luego compactar el conjunto al máximo.

La figura 9.6 presenta una máquina para llevar a cabo estas operaciones, mediante una cavidad que se llena con el modelo (representado en color oscuro y fijado entre dos salientes) y el material que constituirá el molde, en una caja, con tierra buena hasta cubrir el modelo y luego con tierra mala (por ejemplo, la desmenuzada procedente de moldeos anteriores). En esta cavidad, el conjunto se prensará, por ejemplo, con aire comprimido y la posible ayuda de un vibrador.

Ésta es la forma clásica de moldear, pero se emplean otras técnicas, como el *moldeo en cáscara*, que consiste en conformar el molde con una arena finísima a base de resina molida que, al quemarse, por entrar en contacto con una superficie caliente se aglutina y forma una costra (o cáscara), durísima por sí sola.

- *Tratamientos térmicos de hierros y aceros*: las piezas obtenidas pueden mejorar sus propiedades —especialmente la *dureza* (opuesta a la blandura) y la *tenacidad* (opuesta a la fragilidad)— calentándolas hasta cierta temperatura durante un tiempo determinado y luego enfriándolas. La velocidad de calentamiento y de enfriamiento es determinante. Estas técnicas se basan en que la estructura de los metales no es amorfa, sino formada por cristales en disposiciones estructuradas, que pueden variar al calentar o enfriar el metal, sobre todo a determinadas temperaturas que son críticas.

Los tratamientos más comunes son:

- *Recocido* para ablandar el acero. Consiste en calentarlo hasta una cierta temperatura y enfriarlo lentamente. Una variante es el *normalizado*, para dotarlo de características consideradas normales, y se caracteriza por la temperatura de calentamiento y un enfriamiento al aire libre.

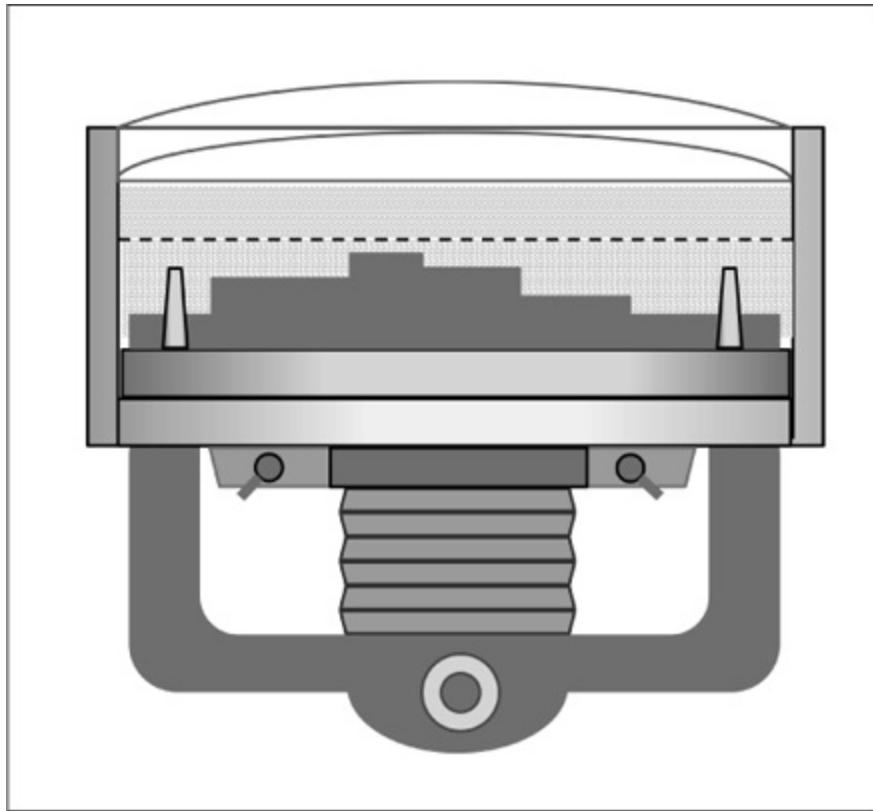


Figura 9.6. Máquina para la fabricación del molde. Elementos principales.

- *Templado* para aumentar la dureza y resistencia del acero, calentándolo a temperaturas elevadas y enfriándolo con rapidez al sumergirlo en un fluido o al aire libre. La velocidad de enfriamiento es crítica.
- *Revenido* para aumentar su tenacidad, aun a costa de su dureza. Se efectúa tras el templado, calentando de nuevo la pieza a una temperatura dada y enfriándola de nuevo, aunque ahora la velocidad no es crítica.

Otros tratamientos implican cambios en la composición del material que, en el acero, afecta especialmente a su contenido en carbono:

- *Cementación* para aumentar el contenido de carbono en la superficie del acero, endureciéndolo. Dado que solo se afecta la superficie de la pieza, se mantiene su tenacidad. Se efectúa calentando la pieza y manteniéndola a cierta temperatura en contacto con sustancias *cementantes* (carbón o ciertas sales fundidas) que le cedan carbono en la superficie. A la cementación suele seguirle un templado y revenido.
- *Cianuración* para aumentar la proporción de nitrógeno, además de la de carbono en la superficie. Es una variante de la cementación que se distingue por las substancias en contacto con la pieza (por ejemplo, cianuros que contienen nitrógeno).
- *Nitruración*, endurecimiento muy elevado de la superficie por absorción de nitrógeno, efectuado por medio de un gas, generalmente amoníaco.

Estos tratamientos se llevan a cabo en hornos con combustibles de distintos tipos, cuya llama está en contacto con las piezas, aunque los de *mufla* tienen completamente separados combustible, llama y gases del material a tratar. También los hay eléctricos y un tipo especial de *baño*, en el que la pieza que se va a calentar se sumerge en una sustancia fundida. En todos ellos, es de extrema importancia controlar los gases del interior del horno, ya que pueden provocar cambios en la composición de la pieza.

- *Metales no ferreos, sus aleaciones, tratamientos y soldadura*: aunque hay más de setenta materiales de este tipo, pocos de ellos son utilizados en cantidades significativas; es el caso del aluminio, cobre, estaño, zinc y níquel, aunque otros se utilizan en forma de aleaciones.

El más empleado es el *aluminio*, muy abundante en la naturaleza, pero cuya obtención como metal puro ha sido costosa durante décadas. Es muy apreciado por su bajo peso específico, resistencia a la corrosión, ductilidad y como conductor eléctrico, por lo que se utiliza mucho en el transporte, dispositivos eléctricos, utensilios de cocina, etc.

Se usan aleaciones de aluminio, en particular con cobre, manganeso, magnesio, y silicio. Destaca el *duraluminio*, una aleación con todos ellos, de una resistencia similar al acero, pero con un peso mucho menor.

El *cobre* y su aleación con *estaño*, el *bronce*, son conocidos y utilizados

desde hace siglos. Sin embargo, actualmente y debido al coste del cobre, está siendo reemplazado por el aluminio e, incluso, plásticos en diversas aplicaciones. Dado que se trata de un excelente conductor de la electricidad, tiene un campo muy grande como tal (aunque también aquí pierde aplicaciones, como el cableado de cobre coaxial para comunicaciones, que está siendo substituido por la fibra óptica).

Entre sus aleaciones, además del bronce, es muy utilizado el *latón*, con zinc o con níquel, y la de bronce con aluminio, entre otras.

El *estaño* es un metal blando, con un bajo punto de fusión y gran resistencia a la corrosión, características que lo hacen muy apreciado en circuitería electrónica. Su baja resistencia mejora aleándolo con cobre (el bronce) y plomo. Una aplicación muy popular es el papel de estaño para envolver alimentos. Se aplica frecuentemente para recubrimientos que eviten la corrosión, siendo muy conocida la *hojalata* —planchas delgadas de acero recubiertas de estaño—, muy utilizada en latas de conserva y otros productos. El *níquel* es un metal cuya utilización ha ido creciendo con el tiempo, sobre todo como metal para obtener aleaciones con características especiales. Es de un color blanco muy brillante y resistente a la corrosión, además de duro, dúctil y maleable, por lo que tiene una gran capacidad para el forjado. Se emplea mucho como recubrimiento de metales (niquelado) y es muy apreciado por su nivel de inoxidabilidad.

Destacan sus aleaciones para obtener aceros especiales, junto con el cromo y el cobre.

El *zinc* es un metal muy utilizado en las fundiciones, por su punto de fusión relativamente bajo. Es frágil y poco resistente, pero empleado en aleaciones con cobre y aluminio aumenta su resistencia. Su aplicación más conocida es el *galvanizado*, recubrimiento electrolítico para planchas y perfiles de acero, con el fin de protegerlo de la corrosión.

Los metales no férricos también pueden estar sometidos a *tratamientos térmicos* para mejorar sus características, si bien son menos corrientes que en el acero. Los más usados son:

- *Recocido*: para evitar deformaciones eliminando las tensiones internas; al hacer más blandas las piezas, se trabajan mejor. Cuando éste es el verdadero objetivo, el calentamiento se hace a

temperaturas superiores.

- *Templado y revenido* para comunicar una mayor resistencia, calentando dos veces (la segunda a mayor temperatura) y enfriando con agua o aceite. El revenido se realiza a una temperatura acorde con el objetivo que se persiga.
- *Bonificación* de las aleaciones de aluminio, para aumentar su resistencia, dureza y tenacidad. Consiste en un calentamiento durante un tiempo, enfriado con agua y posterior envejecimiento, dejándolo en reposo.
- *Normalización* de los latones, con el fin de evitar tensiones internas y las roturas (sobre todo cuando se trabajan en frío).

La *soldadura* de los *metales no férreos* con arco voltaico se puede efectuar especialmente con níquel, cobre, bronce y aluminio y, en general, con corriente continua. La soldadura de aluminio es más compleja, pero en los últimos tiempos ha mejorado la tecnología. Por su parte, el níquel tiene una gran capacidad para la soldadura, tanto la autógena como la eléctrica.

9.3.2. Maquinaria propia de la industria de los materiales plásticos

Cuando hablamos de plástico nos referimos a determinados materiales conocidos como *polímeros*, constituidos por moléculas con una larga cadena de átomos —en especial, de carbono e hidrógeno— obtenidos del petróleo u otros hidrocarburos; existen también materiales plásticos naturales (caucho y celulosa).

Los plásticos —denominación que derivó de su plasticidad— tienen unas características que los hacen muy apreciados para muchas aplicaciones: son ligeros pero resistentes, flexibles, aislantes del calor, la electricidad y el ruido, normalmente impermeables, y se combinan bien con otros materiales, entre ellos, pigmentos de todos los colores; su proceso es productivo, sencillo y económico. De acuerdo con estas características, los plásticos pueden ser de diferentes tipos, de los que destacamos:

- *Termoplásticos* (PVC, poliestireno, metacrilato, teflón, etc.): deformables hasta el punto de poder someterse al proceso de

conformado varias veces.

- *Termoestables* (poliuretano, melanina, etc.): más rígidos y frágiles, así como más resistentes al calor, pero no admiten reprocesamientos por calor. Son, en cambio, los más adecuados para ser mecanizados.
- *Elastómeros* (caucho y neopreno, el primero de ellos, natural o no) constituidos por macromoléculas en red, que pueden estirarse y contraerse, por lo que se distinguen por su elasticidad.

Los productos fabricados con plástico se obtienen directamente, incluso con formas muy complejas, pero, también, a partir de barras, perfiles diversos y planchas estándar. Estos materiales pueden estar sujetos a operaciones de mecanizado, como las que han sido expuestas anteriormente, incluida la soldadura.

La fabricación de piezas de plástico, tanto si se trata de producto acabado como si son perfiles y planchas estándar, se efectúa a partir del material correspondiente en forma de gránulos (*granza*) que se somete a calentamiento para reblandecerlo y presión para darle la forma utilizando las siguientes técnicas y sus máquinas:

- *Extrusión*: en la figura 9.7 A se observan los elementos principales de una máquina para la producción de materiales plásticos por extrusión, a partir de granza que entra por un alimentador, en la figura representado en forma de embudo. Una vez dentro, la granza es empujada por una bomba de tipo tornillo y, al mismo tiempo, calentada hasta su fusión por unas bandas exteriores (tres, en la figura). El material conformado de acuerdo con la forma y medidas que le correspondan sale por una boquilla adaptada a éstas (en la figura, sería la barra o perfil gris que puede verse a la derecha).

Para que el producto acabado se solidifique con rapidez, se dispone de un sistema de enfriamiento (por ejemplo, por agua) rodeando la parte final de la boquilla extrusora, como se aprecia también en la figura 9.7 A.

Una variante de la máquina anterior es la de extrusión de perfiles huecos, tales como tubos u otros (figura 9.7 B). La boquilla está dotada de una lengüeta interior que permite que el material plástico

extrusionado quede hueco por dentro.

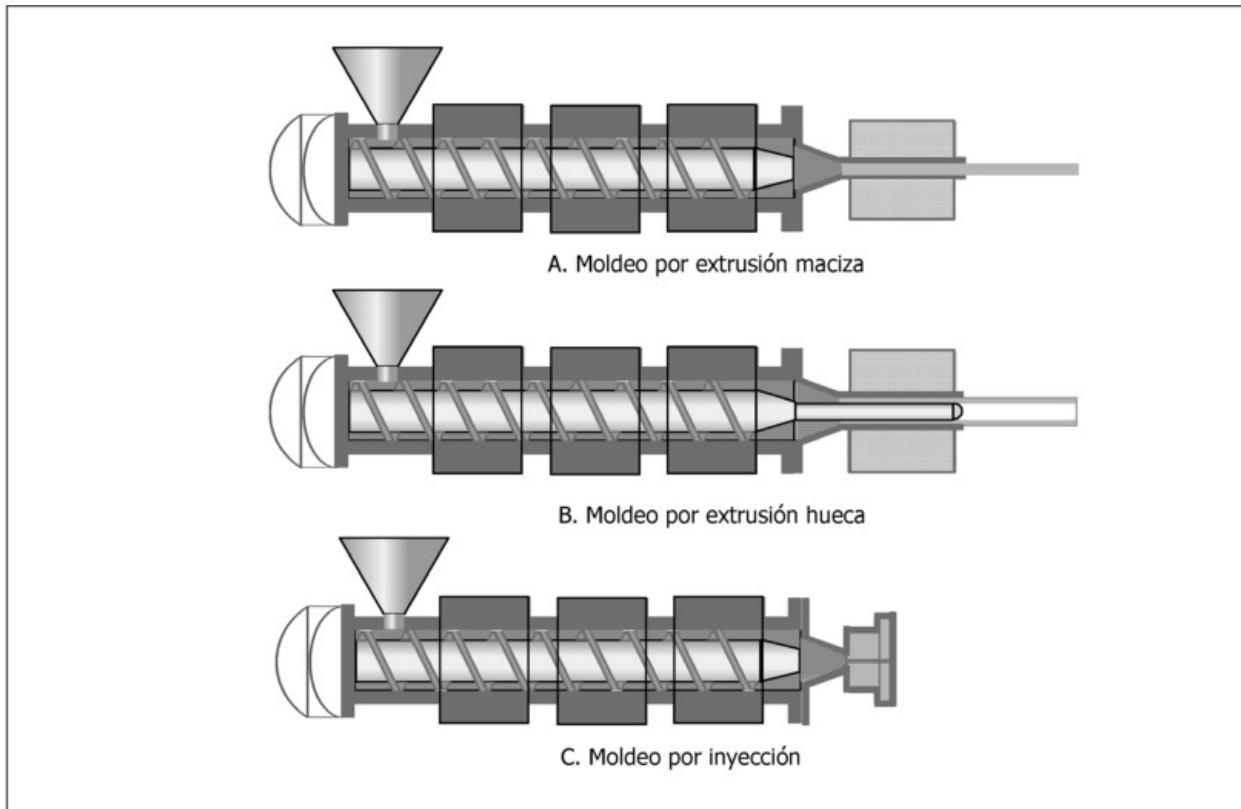


Figura 9.7. Máquinas de fabricación de plásticos por extrusión y moldeo por inyección.

- *Moldeo por inyección:* variante de moldeo en que, en lugar de elaborar barras, tubos y otros perfiles continuos, se obtienen componentes o productos conformados en su diseño final (la figura 9.7 C, en la que se produce un tapón de plástico, cuyo molde se observa a la derecha, partido en dos para poder extraer la pieza moldeada). Los equipos de inyección de plástico inician su funcionamiento igual que los de extrusión —calentando y empujando el material plástico—, pero el producto no sale por una boquilla, sino que se introduce en un molde con la forma del producto que se obtiene.
- *Moldeo por soplado* consistente en lograr piezas huecas de formas diversas en el interior de un molde cuya forma es la del exterior de la pieza que vamos a obtener. Se parte de un tubo conseguido por extrusión, que se encierra en el citado molde y luego se sopla para que se adapte a la forma interior del molde.
- *Termoconformado y calandrado* son, entre otras, técnicas utilizadas para la

fabricación de piezas de plástico, aunque las anteriormente citadas son, con mucho, las más utilizadas.

9.3.3. Maquinaria y equipos de la industria electrónica

Los productos de la industria electrónica se componen de partes mecánicas —habitualmente formadas por materiales metálicos y plásticos—, cuya fabricación ya hemos abordado, y componentes o productos de tipo electrónico. Así, por ejemplo, un ordenador se compone de una caja, segregada o no de una pantalla, ambas constituidas por elementos mecánicos y electrónicos.

En este epígrafe vamos a ocuparnos de la parte electrónica de tales productos, de la que el elemento clave es el circuito impreso, que no es otra cosa que un conjunto de componentes electrónicos (transistores, bobinas, resistencias, etc., así como integrados) dispuestos y soldados en una placa.

Estos circuitos electrónicos son cada vez más complejos, asumen más funciones en un tamaño menor y su coste va descendiendo permanentemente. En la figura 9.8 se observa una de estas tarjetas y en la figura 9.9, un producto electrónico con la circuitería impresa conectada a otros elementos del mismo.

Los productos del sector de la electrónica están provocando una revolución digital que comenzó con los ordenadores y ahora invade todo tipo de productos de uso cotidiano.

Debido a las crecientes exigencias de la electrónica, los circuitos han evolucionado hacia tecnologías más perfectas. Así, dichos circuitos se pueden fabricar mediante la tecnología conocida como de *baño de ola*, basada en insertar componentes electrónicos en una placa agujereada y luego soldarlos en el reverso de la placa, con una aleación de estaño fundida; pero esta tecnología está evolucionando cada vez más hacia la conocida como de montaje superficial o *SMD* (*Surface Mount Device*), basada en adherir los componentes a la placa. Ésta es la que describiremos en este epígrafe.

La figura 9.10 muestra una línea SMD con las máquinas y equipos que la componen. La operativa es automática en su casi totalidad.

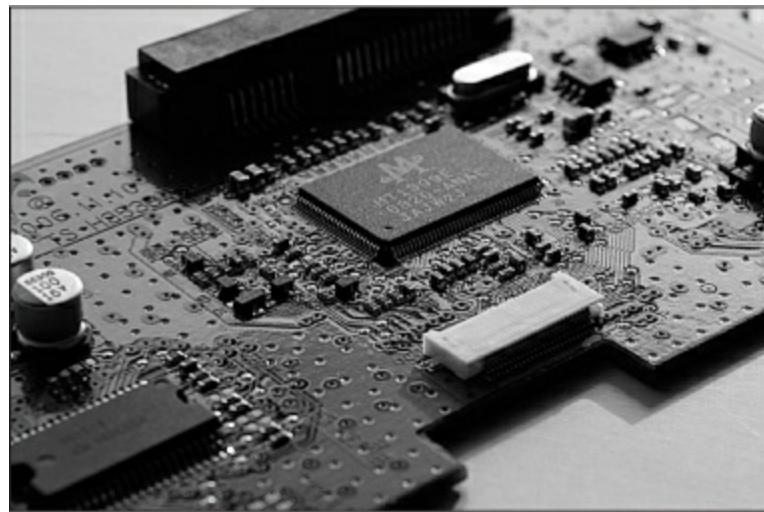


Figura 9.8. Circuito impreso.

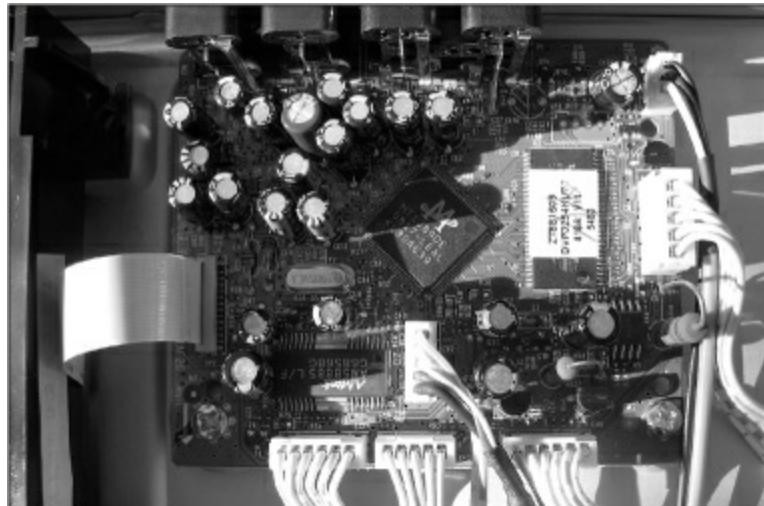


Figura 9.9. Circuito conectado a otros elementos.

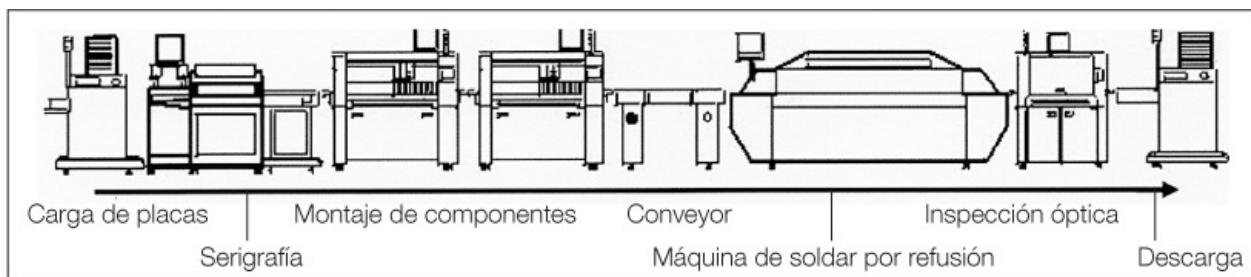


Figura 9.10. Línea SMD y máquinas y equipos que la componen.

Éstas son las máquinas y equipos de una línea SMD:

- *Carga de placas*: un operador dispone, apiladas, un conjunto de placas *PCB (Printed Circuit Board)*, que son las que entrarán en el proceso de fabricación para adherir a las mismas los componentes electrónicos correspondientes.
- *Etiquetado con código de barras*: se provee a las placas de una etiqueta con un código de barras para su identificación, que facilita la trazabilidad.
- *Serigrafía*: máquina en la que las placas se imprimen con una pasta que permitirá la soldadura de los componentes electrónicos a las mismas. Para ello se presionan contra una plantilla metálica que determina las posiciones de dichas placas en las que tiene que fijarse la pasta. Ésta se compone de una aleación de estaño microgranulado mezclado con un aglutinante conocido como *flux*. La operación se completa con una inspección que verifique que todos los puntos de soldadura tienen pasta correctamente aplicada, para lo que se fotografían las marcas dejadas por la plantilla y se analiza el resultado. Los fallos que se encuentren se almacenan y la placa queda identificada como errónea.
- *Montaje de componentes*: éste es el momento en que se colocan los componentes electrónicos sobre las placas de circuito con la pasta. La máquina que realiza esta operación selecciona cada componente de un rollo en el que se hallan encintados (hay varios rollos, uno para cada tipo de componente y un operador los empalma, antes de que se acaben) y corrige su posición antes de colocarlo.
Terminado el montaje de componentes, han de trasladarse al horno de refusión, que, en una línea de fabricación continua, puede hacerse disponiendo de una *cinta o conveyor* que enlace ambas máquinas
- *Horno de refusión* para la soldadura de los componentes a la placa. El calor del horno se aplica en una atmósfera de nitrógeno y de acuerdo con un perfil de crecimiento lento hasta unos 250 grados y caída rápida, con lo que la pasta se funde y luego se enfriá realizando su función de adhesivo.
- *Inspección óptica* de la soldadura, mediante fotografía digital. De nuevo quedará automáticamente registrado cualquier error en la soldadura o en la posición del componente en la placa.
- *Descarga y clasificación de placas*: a medida que se van descargando las placas que vienen de la operación anterior, un operador separa las que no han superado el test anterior que quedan identificadas por su

código de barras y analiza los problemas, que aparecen en una pantalla junto con los datos correspondientes. Fruto de ello queda tipificado el fallo como verdadero (puede que no haya más que un fallo aparente, pero no real) y, si lo es, se clasifica en cuatro tipos: cortocircuito, componente movido, falta de componente y falta de soldadura, que queda debidamente registrado.

9.3.4. Utillajes y fabricaciones en serie

Para cerrar la descripción de las máquinas y equipos más corrientes en los procesos de fabricación, en los que se apoya la ingeniería de procesos, haremos una referencia rápida a los *utillajes* que permiten situar y fijar con rapidez y precisión los productos o componentes que se han de someter a una operación, tantas veces como unidades deban someterse a la misma. Estos utillajes podrán ser más o menos complejos y, con ello, costosos, lo que se justificará por la cantidad de unidades de producto que haya de recibir una operación dada con la utilización de utillajes.

Un *utillaje* es un grupo de elementos autónomo que puede ser aplicado a un proceso de fabricación o montaje, de forma que la operativa se desarrolle de la forma más racional, precisa y rápida. El utillaje ha de permitir situar una pieza en una posición deseada y mantenerla fija durante todo el tiempo de la operación, y así poder realizarla sin que la pieza se desplace, vibre o realice ningún tipo de movimiento. El diseño y construcción se llevará a cabo una vez definidas las operaciones del proceso al que irán destinados y las máquinas o equipos con los que se opere.

La reducción del tiempo de proceso, junto con la mayor precisión de la operación, permiten reducir simultáneamente el tiempo y el coste y mejorar la calidad. Con los utillajes se puede conseguir:

- Utilizar de forma más racional y sencilla máquinas y equipos de producción.
- Reducir los tiempos de colocación y manipulación de las piezas que procesar.
- Facilitar las tareas de los operadores, sobre todo las de los menos expertos.

- Facilitar las tareas de los operadores cuando requieran grandes esfuerzos.
- Facilitar una operativa estándar que permita una mayor intercambiabilidad de los componentes de un producto.

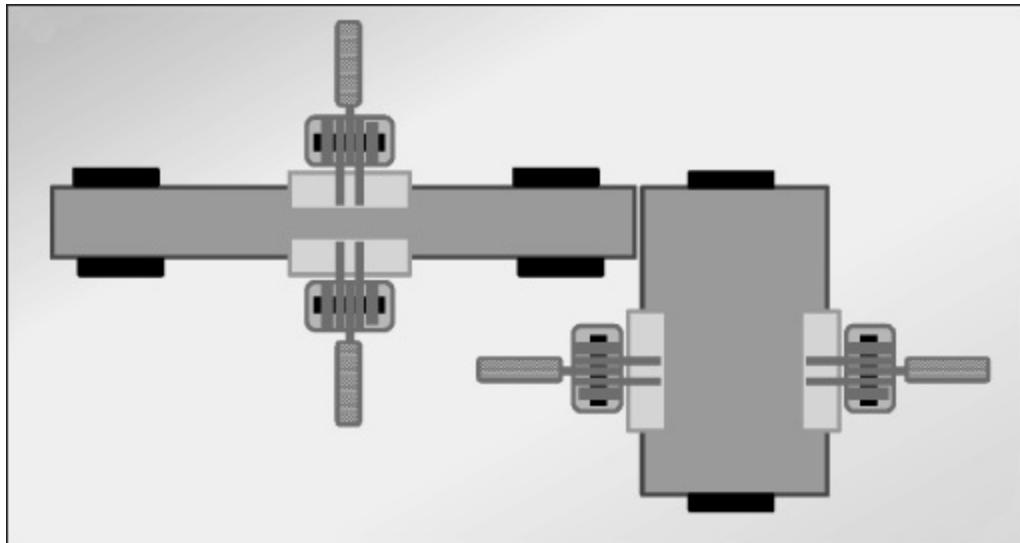


Figura 9.11. Utilaje para fijar en su posición correcta, dos piezas a soldar.

La figura 9.11 representa un utilaje que mantiene en su posición correcta—determinada por unos topes— dos piezas que soldar entre sí, inmovilizadas por sendos sistemas de pinza.

Para la construcción de un utilaje concreto, es conveniente realizar las operaciones que se resumen en las fases que siguen:

- *Determinar las posiciones* absolutas y relativas de las piezas con las que habrá que operar entre sí y con respecto a la máquina en la que se procesarán.
- *Determinar los puntos de apoyo* de las piezas que posibiliten su fijación y no entorpezcan la operación u operaciones que efectuar.
- *Determinar* los sistemas de bloqueo que utilizar en el utilaje.
- *Definir la forma y tamaño* de los elementos que han de integrar el utilaje.
- *Definir el alineamiento* de los elementos del utilaje entre sí, de forma que se garantice un resultado correcto de la operación que se va a realizar.

- *Analizar las exigencias de la máquina* en la que se utilizará el utillaje, e incorporarlas adecuadamente en el mismo.
- *Calibrar debidamente* cuanto sea necesario, especialmente en la fase de montaje de los elementos que componen el utillaje.
- *Elegir el material o materiales* que han de integrar el conjunto del utillaje.

Una vez construido un utillaje, es importante testear su comportamiento y el rendimiento real que ofrece realizando las modificaciones adecuadas, que deberán ser debidamente registradas. Ello habrá de ser así, tanto para las habidas en la fase de construcción del utillaje como en las modificaciones que pueda sufrir con el tiempo, de forma que siempre se disponga de la versión actual del mismo.

9.4. La automatización en ingeniería de procesos

Las plantas de producción llevan a cabo procesos con el concurso de trabajadores y máquinas, que ha sido objeto de nuestra exposición anterior, incluyendo cómo son y cómo operan las máquinas y equipos productivos más usuales. Por otra parte, puede haber operaciones que se realizan de forma totalmente manual y, desde luego, también sin el concurso de operador alguno, de la forma que conocemos como *automática*.

La automatización, aplicada allí donde es realmente conveniente, aumenta la calidad de vida, ya que incide sobre todo en tareas rutinarias y repetitivas y, aunque puede eliminar puestos de trabajo, también los crea para construir las máquinas y equipos y para programarlas, así como para mantenerlas en buen funcionamiento.

Por otra parte, las operaciones cuya automatización es adecuada mejorarán su productividad al hacerlo y, con toda probabilidad, la calidad a la primera (FTQ), ya que el trabajo de las personas representa mayor variabilidad que el de las máquinas.

Cuando se acomete la automatización de un proceso, es frecuente que se combinen varias operaciones en una sola, lo que da lugar a una reducción de stock en curso, sobre todo en las implantaciones de tipo funcional, en las que

cada operación tiene su stock. Si varias de ellas se combinan en una sola, este stock se reduce a uno solo. Lo mismo que ocurre con el *lead time*.

No es de extrañar, pues, que las plantas que operan de acuerdo con los sistemas tradicionales de producción en masa, cuyas implantaciones son mayormente funcionales, gusten tanto de automatizar al máximo. Ello, además, facilita la producción a gran escala y, con demasiada frecuencia, la automatización se contempla como una posibilidad de reducir puestos de trabajo.

El punto de vista del *lean manufacturing* es bastante distinto. Para empezar, no pretende automatizar todo lo automatizable, ni tampoco al cien por cien, como ya se expuso. Por otra parte, la automatización en el ámbito del *lean management* debe llevarse a cabo justo hasta el nivel que resulta conveniente y operando con máquinas que se autocontrolen (*jidoka*).

La automatización de las operaciones de fabricación es, en general, más común y fácil de llevar a cabo que la de los ensamblajes, pese a que normalmente son más sencillos y repetitivos. El extremo de automatización son los sistemas programables CAD-CAM, con máquinas de control numérico, que pueden procesar piezas variando sus parámetros con programación informática. En el capítulo dos se hizo una introducción a este tipo de máquinas.

Podemos decir que los procesos deben cumplir ciertas condiciones para su automatización, además de que, según ya hemos expuesto, no todos los tipos de procesos la admiten. Es muy conveniente, en efecto, simplificar al máximo un proceso antes de automatizarlo, ya que facilita la simplificación de la operativa; de acuerdo con ello, el proceso puede automatizarse solo parcialmente, en aquellas actividades para las que ello esté realmente indicado. A veces es suficiente con automatizar la alimentación y evacuación de materiales.

9.4.1. Enfoque de la automatización de acuerdo con el modelo de gestión

El enfoque del diseño e implantación de procesos y sus operaciones puede conducir a la ingeniería de procesos que automatizar en mayor o menor grado y de distinta manera. En realidad, por lo expuesto hasta ahora, parece que los sistemas de gestión basados en la producción en masa tienden a automatizar

todo lo automatizable y más, debido al objetivo de elevar la capacidad de producción y la eficiencia al máximo, minimizando la tasa de fallos, siempre más probable con el trabajo manual.

Asimismo, parece que la operativa con *lean manufacturing* acusa una cierta prevención frente a la automatización, gracias a que facilita la producción a gran escala y porque puede comprometer la flexibilidad, que está en manos de los operarios, que son quienes fijan el *takt time*.

Por otra parte, el énfasis que la filosofía *lean* hace en el personal y los métodos de trabajo y la tendencia a evolucionar poco a poco frente a la basada en cambios radicales dificulta pensar en la automatización como solución en el entorno *lean*; la verdad es que debe considerarse la automatización como una solución cuando ha lugar, pero con un enfoque muy distinto que los sistemas tradicionales que hacen de ella su estrategia.

Y en medio de todo ello está *jidoka*, este *raro* concepto con múltiples funciones. *Jidoka* se refiere, en efecto, al enfoque *lean manufacturing* para todo aquello que concierne a las máquinas. Entonces no es de extrañar que se haya definido de varias maneras. Así, se le traducido como *autonomía*, para dar a entender que se trata de automatizar de manera autónoma, es decir que la máquina se controla a sí misma. Pero también se ha traducido como *automatización con toque humano*, que da a entender que la operativa funciona automáticamente pero, en último término, son las personas quienes fijan el ritmo del proceso.

Sakichi Toyoda, padre de Kiichiro Toyoda (fundador de la compañía fabricante de automóviles), inició ya el camino hacia el concepto de *jidoka* cuando desarrolló la fabricación de telares automáticos, puesto que los proveyó de autocontrol, con un sistema que los paraba si se rompía un hilo. De esta forma ya no precisaban trabajador alguno vigilando la máquina para pararla ante cualquier eventualidad. Esto supuso separar el trabajador de la máquina (y dedicarlo a otras tareas), otro de los conceptos que se asimilan a *jidoka*.

La propia Toyota definió una secuencia de niveles de automatización y aconsejaba analizar la necesidad de automatización, pasando de un nivel al siguiente. Partiendo de la operativa realizada a mano o con energía humana actuando en máquinas o con herramientas, los niveles serían:

1. Operativa con máquinas que hacen el trabajo, pero operan hasta que

las detiene una persona.

2. Añadir la parada automática de las máquinas y vuelta a la posición inicial. La máquina arranca solo cuando el operador pulsa el botón correspondiente.
3. Descarga automática, que es más sencilla que la carga. El operador carga la máquina y la pone en marcha.
Hasta este nivel, el operador tiene todo el control de la producción y fija el *takt time* del proceso. Es el nivel al que operan las células *lean manufacturing* automatizadas, lo que se conoce como *chaku-chaku*, que será objeto del próximo epígrafe.
4. Carga automática de las máquinas, que reduce el papel del operador a comprobar la calidad y transferir las piezas de una máquina a otra, además de ocuparse de los microparos (típicos de las líneas automatizadas) o de cualquier otra anomalía.
5. Detección automática de anomalías y problemas de calidad. En este nivel, se introduce el concepto de *jidoka* en toda su dimensión, ya que es la máquina la que detecta los problemas de calidad y otras anomalías y, acto seguido, para automáticamente. Ahora el trabajador solo ha de ocuparse de transferir las piezas procesadas a la siguiente operación. Cuando las máquinas están equipadas de modo que se autocontrolen, éste es el nivel asumido en las células *chaku-chaku*.
6. Solo queda la transferencia automática de la pieza, que asume este último nivel de automatización. Ello se logra en líneas *transfer* o con *manipuladores* (tipos de robot diseñados para mover materiales, que describiremos más adelante).

Finalmente, destacaremos que la automatización aplicada a los procesos de ensamblaje o montaje difiere bastante de la de fabricación y es bastante más compleja que ésta. Por ello, muchas veces se automatiza porque se ve la posibilidad de hacerlo, más que por otros fines. Cuando existen muchas variantes o referencias de producto, la dificultad puede ser muy elevada. Sin embargo, la ubicación y orientación de las piezas que ensamblar, lo que se conoce como *picking*, es más frecuente y menos complejo de automatizar.

Los proyectos de automatización en el mundo tradicional asumen con frecuencia todos los pasos de una tacada. Ya hemos comentado la diferencia

que supone ello en relación con la automatización *lean*, en la que todo se lleva a cabo en pequeños pasos y con objetivos mucho más amplios. Así, por ejemplo, debido a que en el entorno *lean* las líneas han de estar balanceadas, es habitual que al repartir la carga entre los operadores, el último asuma una carga menor; la automatización de ciertas tareas puede llegar a una carga más saturada de los operadores y mantener el balanceado.



Figura 9.12. Transferencia del producto en flujo, por canaletas.

9.5. La automatización en *lean manufacturing*. Líneas *chaku-chaku*

Ya se ha expuesto, a propósito de *jidoka*, que a los sistemas productivos gestionados mediante el *lean manufacturing* les interesa automatizar el control y la garantía de un trabajo bien hecho, pero sin incurrir en tareas sin valor añadido, es decir, sin desperdicios (por ejemplo, evitar operadores que solo vigilen).

La automatización aplicada a los procesos *lean* organizados en células flexibles llega de la mano de una organización de los mismos conocida como *chaku-chaku*.

En las células de este tipo, las máquinas o estaciones de trabajo del tipo que

sean descargan el producto de forma automática (por ejemplo, por gravedad), de modo que el operador solo tiene que realizar la carga, poner en marcha la máquina u operación —le permite mantener el ciclo ajustado al *takt time* y, con ello, la flexibilidad— y tomar la pieza procesada que se ha descargado, proceder a su inspección si ha lugar y transferirla a la siguiente operación mediante sistemas diversos, como serían las canaletas utilizadas en el ejemplo de la penúltima figura del capítulo anterior, cuyo detalle reproducimos en la figura 9.12. Lo importante de estos sistemas es que aseguren la operativa realmente *lean*, es decir, en flujo, pieza a pieza. Las máquinas se ponen en marcha por medio de interruptores *as-you-go*, que tienen la particularidad de no precisar que el operador se detenga para pulsarlos, manteniendo la seguridad que necesitan con diversos artilugios (por ejemplo, para que la máquina no se ponga en marcha si se golpea involuntariamente el pulsador).

Las líneas *chaku-chaku* llegan a combinar varias máquinas u operaciones en un flujo único que se adapta a esta forma de operar. También se llegan a combinar varias células *chaku-chaku* en un sistema único, que asegura la transferencia en flujo unitario. En tal caso y en función del *layout*, un mismo trabajador puede trabajar en más de una célula.

El término *chaku-chaku* significa 'cargar-cargar' ya que, a diferencia de los sistemas tradicionales automatizados, en que el operador solo carga y descarga piezas, en las líneas *chaku-chaku* solo debe cargar, poner en marcha la operación y volver a cargar, de manera que el factor humano controla el *takt time* y, con ello, las tareas que aseguran la flexibilidad.

La calidad, en este tipo de líneas se controla automáticamente o con dispositivos *poka-yoke*; cuando ello no es posible, deben preverse dispositivos y sistemas que requieran un mínimo de tiempo que no aporte valor: plantillas pasa-no pasa, check lists, etc. Si se ha de medir algún parámetro, debe hacerse siguiendo esta misma filosofía, para evitar que sea el operador quien lo haga e implementando sistemas que se encarguen de ello, como los denominados SCADA, a los que ya se hizo referencia.

Lo mismo puede decirse de la carga de la pieza en la máquina u operación, dado que se efectúa por un operador, por lo que se estudiarán los sistemas que, manteniendo la necesaria eficacia, supongan la mínima pérdida de tiempo para el operador. La puesta en marcha de la máquina tiene asegurado este objetivo con los interruptores *as-you-go*.

9.6. Automatización mediante células flexibles con tecnología de grupos y sistemas FMS

Además de la posibilidad de automatizar las operaciones de los procesos de producción y, especialmente, aquellas que implican un elevado nivel de repetitividad, existen en la actualidad tipos de producción específicamente diseñados para funcionar automáticamente, normalmente basados en aplicar diseños e implantación ágiles y flexibles a los tipos de producción que más dificultades tienen para lograr un elevado nivel de eficiencia, sobre todo los procesos con una implantación de tipo funcional, con un flujo irregular.

Si desde el punto de vista del diseño e implantación de procesos y su distribución en planta, ya se expuso que las *células flexibles* conducían a implantaciones más eficientes —con cualquier tipo de planta y con procesos poco repetitivos—, a la hora de considerar la mejora de la productividad y la flexibilidad vía automatización, seguiremos con esta idea e implantaremos *células flexibles* automatizadas por medio de la denominada *tecnología de grupos* (*group technology GT*).

En efecto, por medio de la *tecnología de grupos*, los distintos productos o componentes que fabricar se agrupan por la similitud de las operaciones de sus procesos (que, con frecuencia, supondrá productos similares o modelos del mismo tipo de producto), de forma que resulte más sencillo desarrollar un proceso automatizado para procesar todo un grupo o familia de productos o componentes, con una sola célula automatizada para cada grupo. Dada la similitud de las piezas que vamos a obtener, las operaciones que se efectuarán en cada célula podrán disfrutar al máximo de las condiciones que propicia la automatización, puesto que se favorecerá la repetitividad y podrá aplicarse la simplificación. Además, los tiempos de preparación se reducirán necesariamente, lo que facilitará que pueda operarse con lotes menores de piezas más variadas.

Por otra parte, la *tecnología de grupos* facilita la estandarización de los diseños, la normalización de las piezas, la modularidad de los productos y la clasificación de éstos y sus componentes en familias o grupos, así como la aplicación de diseños eficientes para los procesos, como son, en efecto, las *células flexibles*, además de forzar la simplificación en el diseño de estos

procesos; como el control se lleva a cabo vía informática, se favorece que haya bases de datos con importante información de los diseños de productos y procesos, lo que posibilita su implantación, la interrelación entre unos y otros y, por tanto, la implantación de los cambios que se considere convenientes, con lo que finalmente se aumentará la flexibilidad. Estas bases de datos podrán utilizarse, además, para la planificación de la producción de los productos y sus componentes, así como para el control, por lo que ambos se verán facilitados.

Las *células flexibles con tecnología de grupos* permiten implantar procesos de forma automatizada, al utilizar los equipos adecuados y agrupar los productos y componentes a fin de facilitar las operaciones y su automatización. Sin embargo, estos procesos pueden formar parte o estar enlazados con otros para constituir líneas o plantas de producción que permitan la ejecución de productos completos. Así pues, pueden implantarse sistemas de producción completamente automatizados, integrados por células flexibles o equipos específicos cuya programación, ejecución de operaciones, transferencia de materiales y control están gobernados por un ordenador central que permite así enlazar todos los equipos de la planta. El conjunto constituirá un *sistema de fabricación flexible (Flexible Manufacturing System FMS)*, que, como se comprenderá, constituye un paso más allá de las operaciones o procesos aislados automatizados, constituyan o no *células flexibles*.

Así pues, un sistema *FMS* está integrado por un ordenador central que gobierna la operativa de los procesos que correspondan, desde los productos de una familia concreta —las máquinas estarían dedicadas y se podría procesar en flujo— hasta los correspondientes a una determinada variedad de productos, con máquinas de propósito general, todo ello de forma que la preparación pueda efectuarse con rapidez. El sistema *FMS* gobierna asimismo las operaciones de cada máquina y sus tiempos de ciclo, de forma que se alcance la sincronización, y controla las cargas, transferencias y descargas de materiales de las máquinas de forma asimismo automática. La figura 9.13 muestra los elementos que componen, básicamente, un sistema *FMS*.

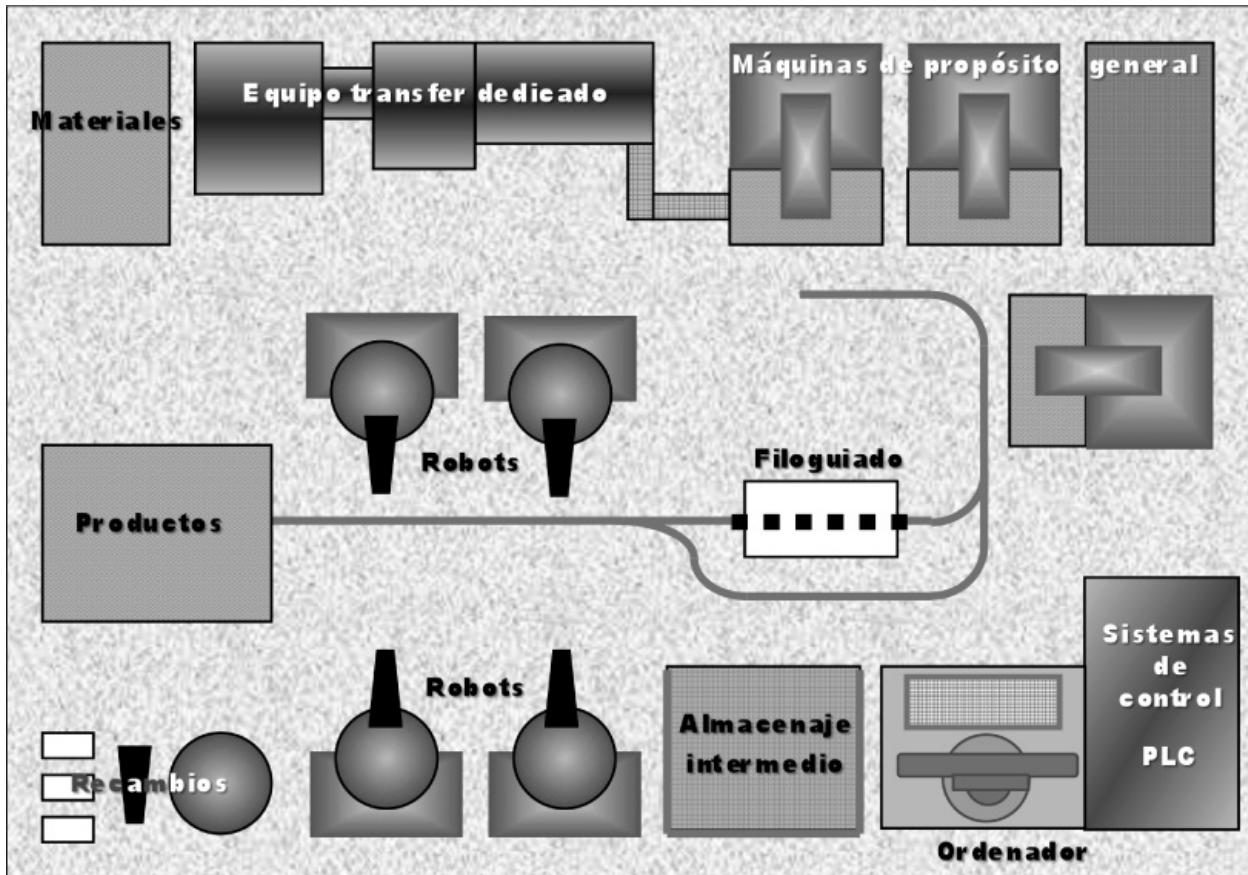


Figura 9.13. Línea de fabricación flexible FMS.

Dicha planta contiene diversos elementos del sistema productivo dispuestos en una U: un área de almacenamiento de materiales a la entrada, un grupo de máquinas dedicadas (es decir, para productos específicos) integradas mediante sistemas *transfer* (con los que los materiales se transfieren de una a otra automáticamente y el conjunto opera como si fuera una sola máquina) y un grupo de máquinas para mecanizaciones muy diversas (por tanto, son de propósito general), de las que hay varias para que el sistema, a través de su ordenador, pueda combinar los lotes a operar en este tipo de máquina, eligiendo siempre la más descargada; a continuación y enlazadas por un sistema de *carros filoguiados* (que avanzan automáticamente, transportando los materiales de una estación a otra guiados por un hilo conductor en el suelo y gobernados, como todo el sistema, por el ordenador), hay un almacén regulador intermedio —el único que admitirá nuestro sistema— y una batería de robots para operaciones de ensamblaje básico que, sin ser de propósito general, pueden realizar tareas de una cierta variedad ajustando sus programas; la

existencia de varios de ellos permite, también, que el ordenador envíe los componentes que ensamblar al robot menos cargado. Finalmente, se encuentra un área de almacenamiento del producto acabado.

Las plantas o líneas de producción *FMS* pueden implantarse en forma de U o en línea recta (e incluso otras implantaciones); en la figura, la implantación ha sido en una U, pero este tipo de implantación —que tanto aconsejamos para los procesos con ciclo gobernado por operarios, a fin de que éstos puedan ocuparse de un número variable de máquinas o equipos productivos— no son tan comunes en las líneas automatizadas y menos aún cuanto mayor sea el nivel de automatización; sin embargo, más allá de las ventajas inherentes a la existencia de personal, las líneas en U tienen otras ventajas que también pueden ser aplicables a las plantas automatizadas: ocupan menos espacio, se controlan mejor (ningún equipo está especialmente lejos), la entrada y la salida están al mismo nivel, por lo que la retroalimentación de la información es más fácil, etc.

La existencia de grupos de máquinas para realizar tareas específicas puede dar lugar a una operativa en *células flexibles* reales, dentro del sistema, o cuanto menos, virtuales, ya que las células no operarán independientemente sino integradas dentro del sistema y gobernadas por el ordenador central.

Los sistemas *FMS* tienen por objetivo realizar, por tanto, una producción multiproceso con automatización de las operaciones y de las transferencias entre ellas. Dado que pueden llevar a cabo actividades para productos específicos junto con otras con máquinas de propósito general, en conjunto, podrán considerarse un tipo de producción a caballo entre la producción en flujo, para obtener un producto concreto (y por tanto dedicada), y la que pueden desarrollar los sistemas de propósito general, más propia de los talleres (sin llegar a la flexibilidad de éstos). En este sentido ocuparían, pues, un lugar en la matriz producto-proceso a caballo entre la producción por taller pura y la línea automatizada, tal como se ubicó en su momento en la matriz producto-proceso completa, expuesta en el capítulo segundo, aunque, tal y como se hizo allí, apartada de la diagonal hacia la zona inferior izquierda, pues el sistema sigue la filosofía de llevar a cabo producciones tan cortas como sea necesario, con implantaciones en flujo; la figura 9.14 destaca la ubicación de los sistemas *FMS* en la matriz producto-proceso, esta vez junto con las *células flexibles con tecnología de grupos* y también las *células flexibles no automatizadas* (filosofía *JIT*).

En realidad, y de acuerdo con la situación, con un sistema *FMS* pueden

llegar a implantarse desde producciones en flujo puro hasta producciones que exijan la flexibilidad de la producción a medida o *job shop*. Como ejemplo de todo ello, podemos citar un fabricante japonés de bicicletas que tiene una planta tipo *FMS* que fabrica cada bicicleta a medida de su cliente: éste llega, se le toman las medidas necesarias de su cuerpo y, sobre todo, extremidades, medidas que se introducen en un ordenador que, a su vez, programa las máquinas de cortar y mecanizar los tubos del cuadro de acuerdo con las medidas tomadas; a partir de ahí y siempre gobernado por el ordenador, el proceso suelda los tubos y ensambla el cuadro con el resto de los elementos de la bicicleta, que queda finalmente lista para entregar al cliente.

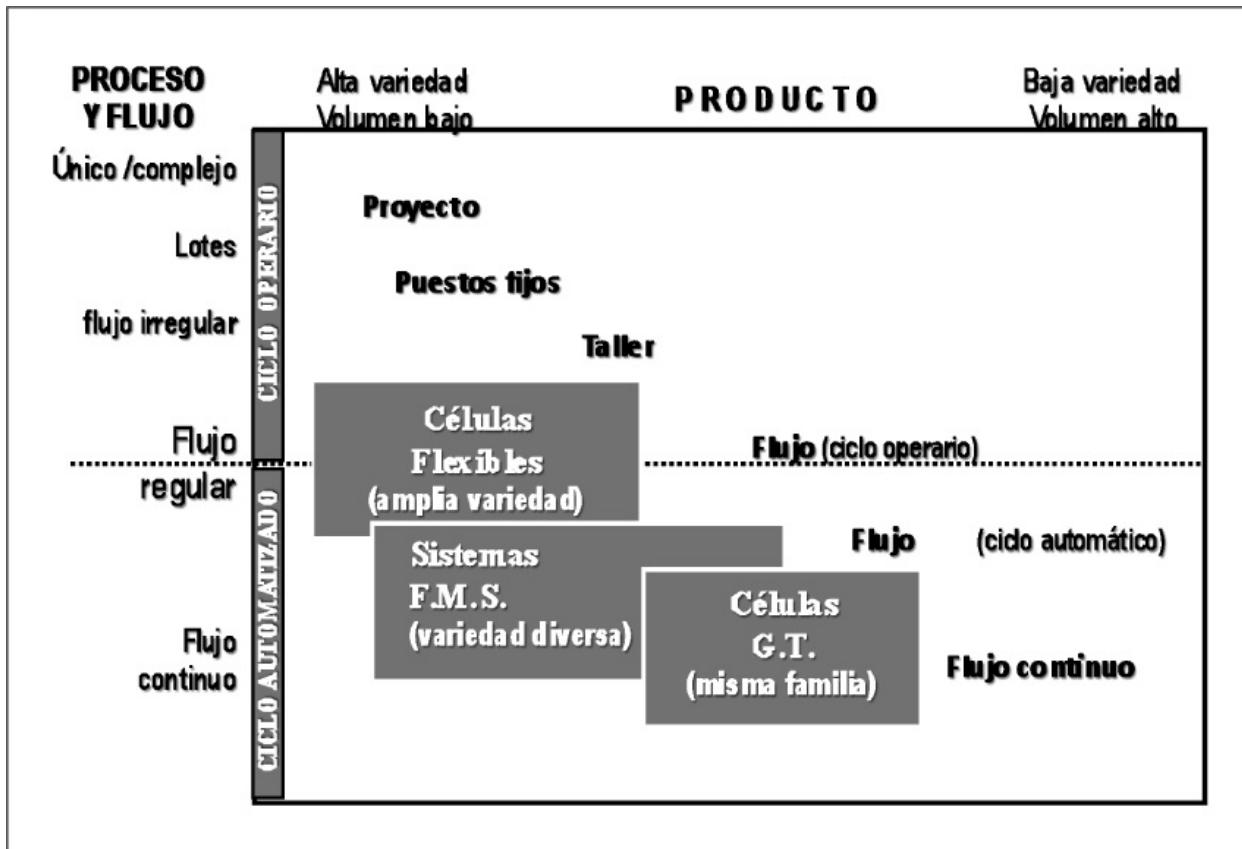


Figura 9.14. Matriz producto – proceso con ubicación sistemas FMS y células GT.

Los sistemas *FMS* suponen una importante inversión, son complejos (por tanto exigen una formación de nivel) y demandan buena organización en la planta y simplificación de los procesos. Normalmente, han de mejorar la productividad (y, por tanto, los costes) y los plazos, así como han de permitir tasas más elevadas de la utilización de la maquinaria (lo que es congruente con

la mejora de la productividad) y reducir el nivel de inventario y los tiempos de espera a mínimos, ya que el ordenador elige las mejores opciones de secuenciación de lotes y tareas; asimismo, han de suponer una reducción de la mano de obra directa, que se limita a la puesta en marcha, preparaciones, alimentaciones y evacuaciones de materiales, control de incidencias, mantenimiento de los equipos y control de la calidad. Su introducción no es pues fácil y normalmente exige una larga y cuidadosa planificación, hasta el punto que en ocasiones se implantan a base de equipos automáticos que poco a poco van constituyendo la planta *FMS* para, finalmente, completarse con su integración y con la programación y control por medio de un ordenador.

Por otra parte, los sistemas *FMS* hoy por hoy son más comunes en la fabricación que en el ensamblaje/montaje, donde, con gran frecuencia, hay un uso mucho más intensivo de la mano de obra que en la fabricación.

9.7. Equipos específicos de la producción automatizada: máquinas de control numérico (NC) y control numérico por ordenador (CNC)

Las *máquinas de control numérico (NC)* realizan operaciones de mecanización para geometrías de cierta complejidad, programadas por ordenador a través de un software que puede manipular variables de formas, tamaños, velocidades, etc. Pueden operar solas o unidas por sistemas *transfer*, en cuyo caso se constituyen, normalmente, en *células flexibles de fabricación*. La alimentación de materiales y aun la de herramientas en los cambios pueden estar asimismo automatizadas.

Este tipo de equipos automáticos de producción, al igual que ocurrirá con los *robots*, se caracteriza por el hecho de poder efectuar tareas mucho más flexibles que las máquinas y equipos automatizados para hacer una operación dada; sin embargo, normalmente, estos últimos son mucho más rápidos que las máquinas de control numérico y los robots, por lo que para lotes grandes de producción con operaciones muy similares son preferibles los equipos automatizados para realizar una secuencia única.

Así pues, la ventaja de las máquinas de control numérico es su gran

flexibilidad, puesto que pueden cambiar de tarea con rapidez y con la facilidad de hacerlo de forma computerizada, al tiempo que ahorran también mano de obra directa. Como inconvenientes, aparte de la velocidad ya comentada, podemos incidir en que su mayor complejidad puede favorecer que se precisen más cuidados, que se presenten más averías y que, al funcionar bajo el gobierno de un ordenador, pueda haber fallos en la programación.

Estas máquinas pueden funcionar bajo el control de un solo ordenador central o mediante uno en cada máquina; en este último se opera de forma autocontrolada, además de disponer de un hardware más completo y directo y con menos cableado. Este tipo de máquinas se denominan *de control numérico por ordenador* (CNC), que pueden incluir, además, un nivel más o menos importante de automatización de la manipulación de materiales y herramientas. Un ejemplo de este tipo de máquinas se aprecia en la figura 9.15.

9.8. Robots industriales y manipuladores

Los robots que llevan a cabo operaciones de procesos de producción operan por medio de una estructura que les permite realizar una serie de movimientos mecánicos que pueden programarse por ordenador; esta programación debe permitir, además, que la secuencia de movimientos que pueden realizar pueda alterarse de acuerdo con las tareas que ejecuta.

La AMI (*American Robot Industry*) ha definido el robot como *un equipo diseñado y construido para mover materiales, piezas, herramientas y utilajes especializados mediante movimientos programados de forma que puedan cambiar y ajustarse a la realización de tareas específicas*. Un cerebro (ordenador) rige los movimientos y tareas que realiza y sus brazos articulados los efectúan.



Figura 9.15. Máquina de control numérico típica de sistemas FMS.

Las características de los robots han permitido que, además de llevar a cabo actividades de producción automatizadas propias de otras máquinas que no lo sean, puedan realizar también actividades propias de las personas, muy especialmente cuando son repetitivas, incómodas o peligrosas y, en general, cuando el robot sea una opción con importantes ventajas. Siguiendo con el símil de las personas, los robots suelen estructurarse atendiendo a un *tronco* que soporta todo el equipo, un *brazo* dotado de articulaciones e, incluso, una *mano* con su *muñeca*, que es la que soporta todo aquello con lo que opera el robot; dispone asimismo de un *cerebro*, el ordenador programado con los movimientos que debe efectuar.



Figura 9.16. Manipulador para mover vidrios de gran tamaño.

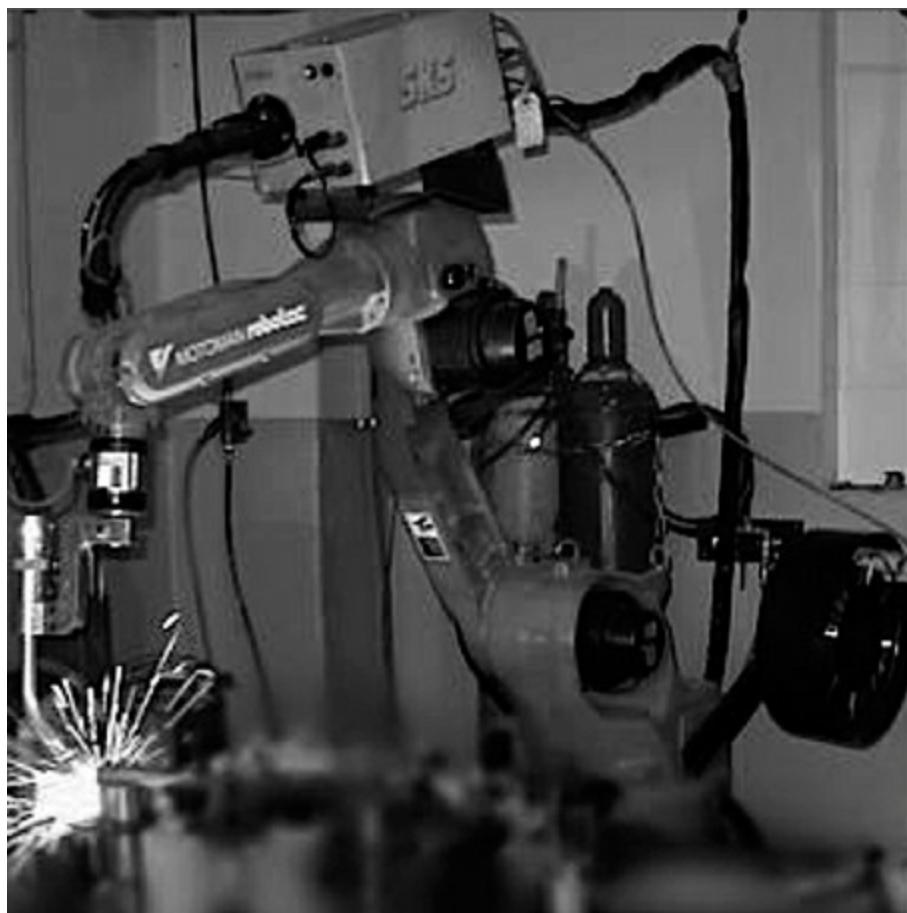


Figura 9.17. Robot equipado y programado para realizar operaciones de soldadura.

Las articulaciones del brazo, la muñeca y la mano son las que permiten que el robot pueda realizar más o menos movimientos y, sobre todo, que éstos le permitan desplazarse sobre dos o tres dimensiones. De hecho, es frecuente hablar de **robots** solo cuando los desplazamientos alcancen las tres dimensiones y de **manipuladores** cuando éstos se desarrollen en solo dos dimensiones.

Con robots se pueden realizar muchas operaciones de los procesos (especialmente en fabricación), algunas de las cuales han llegado a un grado muy grande de perfeccionamiento —como la soldadura—; también operaciones combinadas, variando además los avances y la velocidad y hacer todos los cambios que *entienda* la máquina. Las figuras 9.16 y 9.17 son dos ejemplos de robot: uno mueve materiales (vidrio) y el otro ejecuta operaciones de soldadura.

Todos ellos llevan a cabo operaciones con aspectos que pueden presentar dificultades, especialmente en lo que se refiere al lugar exacto donde han de actuar, que, muchas veces, de una pieza a la siguiente, puede cambiar, como es el caso de colocarlos en un contenedor, cada uno en un lugar ligeramente distinto al anterior (e igualmente para extraer los materiales del mismo).

Más allá de los robots propiamente dichos, en la ingeniería de planta se utilizan otros equipos cuya función es similar (mover, depositar y recoger materiales), aunque diseñados para operar en almacenes. Todo ello de forma totalmente automática, una vez más, por medio de ordenadores, que recuerdan dónde han depositado una carga, para cuando tengan que recogerla de nuevo.

9.8.1. Manipulación y transferencia de materiales

Otro ejemplo de equipos automatizados y gobernados por ordenador son los sistemas de manutención para mover materiales, algunos de los cuales tienen gran complejidad. Como las cadenas suspendidas y cintas tipo conveyor, aunque la complejidad llega con los carros filoguiados, cuya trayectoria puede alterarse. En este campo, las cosas no son distintas que en las operaciones de los procesos, en cuanto a las posibilidades de automatizar: la repetitividad y la sencillez de movimientos facilitan mucho estas posibilidades.

Las cintas transportadoras y cadenas de transporte permiten automatizar la transferencia de materiales entre operaciones o entre procesos, y son la

alternativa para los carros manuales y las carretillas elevadoras. La carga y descarga puede efectuarse también por medio de alimentadores (por gravedad o motorizados).

Sin embargo, cintas y cadenas transportadoras carecen de flexibilidad, puesto que siempre hacen el mismo movimiento o manipulación; en las carretillas elevadoras, la automatización es solamente parcial. La automatización total de la manipulación y transporte de materiales en los procesos de producción, unida a una gran flexibilidad, viene de la mano de los *carros filoguiados* movidos automáticamente —por tanto, no requieren personal— y comandados a distancia, que se mueven sobre pistas señalizadas por hilos o pinturas conductoras en el suelo, aunque hay variantes de estos vehículos que se lo hacen de forma automática, en las que se utilizan otras técnicas de guiado. En la figura 9.13 hemos incluido un sistema de transporte de este tipo, mientras que el equipo *transfer* envía el producto por medio de un alimentador a las máquinas de propósito general.

9.9. La automatización y computerización en la ingeniería de procesos

Para concluir con la descripción de los aspectos que tener en cuenta en la automatización de los procesos de producción, podemos hacer referencia a los que afectan al diseño, planificación, programación y preparación de tales procesos, que acabaremos por integrar en los que hacen referencia a la ejecución y control de los mismos. Son los que afectan a la ingeniería de productos y procesos.

La automatización por medio de ordenadores y la transferencia de información entre ellos utilizando bases de datos ha dado lugar a una serie de disciplinas cuyas siglas empiezan invariablemente por *CA* (*Computer Assisted*, es decir, asistido por ordenador). Así, el *CAD* se refiere al diseño de productos por medio de programas informáticos concebidos para realizar, copiar, mejorar, retocar, etc., los diseños de los productos, normalmente en tres dimensiones y con opciones a que el producto pueda moverse en la pantalla, a que el ordenador construya automáticamente distintas *vistas* una vez tiene datos suficientes, etc.

Otra de estas disciplinas, *CAM*, por su parte, hace referencia a la ejecución de los procesos de fabricación o manufactura asistida por ordenador. Por medio de *CAM* se puede apoyar la fabricación o llegar a un control total de la misma e, incluso, de la manipulación y transporte de materiales. Las bases de datos que alimentan las acciones *CAM* pueden referirse a formas, dimensiones, velocidades, etc., o a aspectos de la tecnología de fabricación.

CAD y *CAM* pueden combinarse y dar como resultado el denominado *CAD/CAM*, que permite enlazar, vía base de datos, las actividades de diseño informatizado del producto con las propias del control de la ejecución de la fabricación y, por ejemplo, que los cambios en los diseños de los productos se conviertan automáticamente en cambios en la ejecución de los procesos; el *CAD/CAM* posibilitará todo aquello que pueda lograrse enlazando la información del diseño de productos con la de su fabricación, lo que puede ser importante para determinar las causas de los problemas resultantes en la ejecución de la producción, cuando no se sabe si se derivan del producto o del proceso. Además, el *CAD/CAM* abre una importante perspectiva para la aplicación de la ingeniería simultánea, basada en enlazar y aun solapar las actividades de la ingeniería de producto (diseño y desarrollo del mismo) y de proceso (lo propio con el proceso productivo).

Finalmente, está la *CAE*, que hace referencia a la ingeniería (la E se refiere a *engineering*) asistida por ordenador y se aplica sobre todo al desarrollo de productos utilizando simuladores de comportamiento de los mismos y los materiales que los integran, sin necesidad de construir y experimentar prototipos. Estos simuladores se fundamentan especialmente en modelos basados en elementos finitos y sus relaciones e interacciones.

Todas estas disciplinas permiten alcanzar importantes mejoras en tiempos y costes en el diseño, desarrollo, modelización y producción, así como reducir la incertidumbre que puede rodear estas actividades. Además, cuando se puede emplear la simulación, los estudios de las posibilidades existentes en estos aspectos pueden extenderse de forma muy importante, ya que la simulación pretende responder la pregunta que nos haríamos invariablemente en estos casos: ¿qué pasaría si hacemos tal cosa u ocurre tal otra?

9.9.1. Computer integrated manufacturing (CIM)

Las siglas *CIM* aluden, como resulta evidente, a la integración total por medio de ordenadores de todos los aspectos que se relacionan con la producción y a los que hacían referencia las distintas siglas que hemos ido desgranando anteriormente, con la meta de optimizar simultáneamente todos los objetivos de eficiencia de dicha producción. En el *CIM* no son tan solo las citadas técnicas las que permiten la integración automatizada; los sistemas de información y las comunicaciones son de una importancia primordial desde el momento en que el flujo de información es lo que permite la integración deseada.

El desafío de los sistemas *CIM* está en emplear, en el sistema productivo, elementos con el adecuado nivel de automatización y debidamente preparados para su integración, desde aquellos que se refieren a la ejecución de los procesos (aquí el nivel más importante correspondería a un sistema de fabricación *FMS*) hasta los que están más relacionados con el diseño, desarrollo y control de productos y procesos y, en definitiva, relacionados con la ingeniería (*CAD/CAM* y *CAE*). Una vez alcanzado el nivel adecuado en los elementos que componen el sistema productivo, el desafío se centrará, lógicamente, en su integración y, por tanto, en el sistema de información y las comunicaciones.

9.10. Implantación de procesos de producción automatizados en flujo discreto o continuo

Vamos a terminar los aspectos relacionados con la producción automatizada y a exponer cómo gestionar la implantación de una línea de producción en flujo (discreto o continuo), es decir, los tipos que en la matriz producto-proceso hemos considerado que eran los candidatos normales a la automatización. Se tratará de llevar a cabo una implantación eficiente y flexible, en la que se eliminan los desperdicios, algo que la implantación en flujo facilita de forma decisiva.

La gestión de una línea de producción automatizada obedece a dos principios, por otra parte muy lógicos:

- a) Las *actividades automatizadas* han de tratar de alcanzar un objetivo:

funcionar a un ritmo real que les otorgue la capacidad necesaria o, si se quiere, que el ciclo real de producción por pieza en máquina sea el que se precisa para la adecuada alimentación del proceso que viene a continuación. Obsérvese que nos hemos referido a capacidad real o, si se quiere, al ciclo real; esto significa que debemos mencionar la capacidad de producción de la máquina, descontando los tiempos de paro, programados o no, y de microparos, que en la producción automatizada son mucho más frecuentes que en la gobernada por operadores. Por lo demás, esta capacidad o tiempo de ciclo deberá depender de la máquina y sus posibilidades, lo que por otra parte no está sujeto a variaciones como ocurre con los tiempos de operario, que dependen de las actividades que se les asignen, su destreza y el método de trabajo empleado.

- b) Las *actividades que asignar a los puestos de trabajo*, sean directamente productivas o no y el número de éstos que serán necesarios, deberán determinarse con las mismas reglas que se dieron a propósito de la implantación de sistemas de producción en flujo con ciclo gobernado por operarios: determinar el ciclo de operaciones necesario y asignar las que sea conveniente a cada puesto de trabajo para equilibrar el ciclo y asegurar que las máquinas pueden operar con este mismo tiempo de ciclo. Hay que tener en cuenta que, con frecuencia, se incluirán actividades que deben realizarse cuando se presente un problema dado y no a intervalos regulares; entonces nos vemos obligados a trabajar con valores medios de dedicación por hora o unidad de tiempo de referencia, con el inconveniente de que, si se presentan cuando el operario está trabajando en otra tarea, la primera deberá esperar y se alargará el tiempo real de paro, por lo que habrá que considerar factores de seguridad al tomar estos tiempos, en la medida que no podamos distribuir las tareas entre los operadores de forma que se eviten tales *interferencias entre las máquinas* (denominación con la que se conoce este problema).

Para ilustrar la implantación de la producción automatizada y las normas que acabamos de dar, vamos a aplicarlas a un caso-ejemplo, que se referirá a la planta *FMS* de la figura 9.13.

Supongamos que se desea llevar a cabo la producción de una determinada pieza en la referida planta *FMS*, en la cantidad de 400 unidades en una jornada de ocho horas, lo que da una capacidad necesaria de 50 unidades por hora operando durante las citadas ocho horas. Los paros programados de la planta por preparaciones y mantenimiento ascienden a 40 minutos por jornada, lo que reduce la disponibilidad de tiempo en estos 40 minutos, de modo que si queremos seguir calculando sobre una jornada de ocho horas, cada hora será de:

$$60 - (40/8) = 55 \text{ minutos efectivos para operar}$$

Los equipos que intervienen en el proceso de la pieza en cuestión, junto con sus ciclos de trabajo referidos a la operación sobre dicha pieza, son:

- ✓ *Grupo transfer*: operaciones básicas de la pieza con un ciclo total a la salida del grupo de 35 segundos por pieza.
- ✓ *Mecanizado en máquina de propósito general*: dos operaciones de mecanización de la pieza con un ciclo total a la salida de 45 segundos.
- ✓ *Ensamblaje final en robot* con un ciclo total de 90 segundos.
- ✓ *Carros filoguiados*: tienen un ciclo máximo de 120 segundos entre la carga, viaje, descarga y nueva disposición para carga.
- ✓ Necesidades medias de *atención de los equipos*, por incidencias y otras paradas breves más allá de los paros programados, con un coeficiente de seguridad mínimo, ya que trataremos de asignar las actividades a los operarios de forma que se eviten, en lo posible, las interferencias de máquinas: cuatro minutos por hora para el grupo transfer (por materiales encallados en las transferencias), dos para las máquinas de propósito general (por problemas con las herramientas) y cinco para los robots (por ajustes de programación). Los carros filoguiados están siempre disponibles dentro del margen de 55 minutos por hora en que operamos.

Las actividades que deben efectuar los operadores deberían ser mínimas en una línea *FMS*. Sin embargo, a fin de ilustrar los distintos tipos de tareas que efectuar por dichos operadores —que normalmente no serán de producción— en una línea automatizada (pero no necesariamente *FMS*) y para que sirva realmente para exponer cómo se asignan actividades a los trabajadores de una

línea automatizada, consideraremos que éstos deberán efectuar las que siguen:

- ✓ *Alimentación de material inicial al grupo transfer:* cada alimentación comporta un tiempo de cinco segundos por pieza, operando con un contenedor especial que permite no tener que efectuar más de una alimentación por hora.
- ✓ *Alimentación de carro filoguiado* a la salida de cualquiera de las máquinas de mecanizado de propósito general: cinco segundos por pieza, con un contenedor que permite que solo deba efectuarse una alimentación por hora.
- ✓ *Evacuación de carro filoguiado* al final del proceso completo y depositar la pieza en contenedor de producto acabado: tres segundos por pieza en las mismas condiciones de una sola evacuación por hora.
- ✓ *Por intervención en las incidencias y paradas breves* de las máquinas (con los coeficientes de seguridad convenientes): los mismos tiempos considerados en las máquinas: el grupo transfer, cuatro minutos por hora; las máquinas de propósito general, dos; los robots, cinco.
- ✓ *Por otras incidencias y actividades de mantenimiento y control* que pueden realizarse dentro de los paros programados o con el proceso en marcha: cinco minutos por hora en la zona del grupo transfer, diez en la de máquinas de propósito general, cinco en la zona de robots y tres en la de filoguiados.

Con estos datos se efectuará la implantación del proceso como sigue: en primer lugar, llevaremos a cabo los cálculos de tiempo para las máquinas, que nos permitan determinar su ciclo y la cantidad necesaria de cada una para la producción prevista. La tabla de la figura 9.18 contiene los cálculos para cada máquina:

Concepto	Máquina transfer	Máq. mecaniz. (propósito gral.)	Robots	Carros filoguiados
Paros no programados e incidencias	4 minutos/hora	2 minutos/hora	5 minutos/hora	0 minutos/hora
Tiempo efectivo disponible para operar	$55-4 = 51$ min/hora	$55-2 = 53$ min/hora	$55-5 = 50$ min/hora	55 min/hora
Ciclo para producción de 50 piezas/h	$51/50 = 1,02$ min = 61 s	$53/50 = 1,06$ min = 63 s	$50/50 = 1$ min = 60 s	$55/50 = 1,1$ min = 66 s
Ciclo real máquina	35 s	45 s	90 s	120 s
Número de máquinas necesarias	$35/61 = 0,57$ Tomaremos 1	$45/63 = 0,71$ Tomaremos 1	$90/60 = 1,5$ Tomaremos 2	$120/66 = 1,82$ Tomaremos 2

Figura 9.18. Determinación de los ciclos de las máquinas y cantidad de las mismas.

En la planta se dispone de una máquina transfer, tres de mecanizado de propósito general, cuatro robots y dos carros filoguiados en su recorrido.

Ahora estamos ya en condiciones de determinar los tiempos y necesidades de mano de obra. El cuadro de la figura 9.19 (en la página siguiente) indica los cálculos correspondientes.

Los totales de ocupación de la mano de obra no se han determinado por unidad de producto, como es habitual, sino por hora, ya que, como suele ser habitual en las actividades manuales de las líneas automatizadas, las actividades no están relacionadas con las unidades de producto, sino con el tiempo, por lo que hemos referido los cálculos a la unidad de tiempo (hora).

Veamos pues las necesidades de mano de obra. En total son precisos 3.870 segundos por hora; dado que una hora dispone de 3.600 segundos, necesitaremos:

$$3.870/3.600 = 1,075 \text{ puestos de trabajo}$$

Esta cantidad, aun siendo muy cercana a la unidad, la redondearemos a **dos puestos**, no solo porque a pesar de todo supera la unidad, sino porque el tiempo sobrante se empleará en absorber el derivado de las interferencias entre máquinas que no hayamos podido evitar con una buena distribución de las

tareas (pese a que trataremos de alcanzarla) y, de sobrar todavía algún tiempo a estos dos puestos de trabajo, se les encomendará, además, tareas de mantenimiento productivo (limpieza, etc.) y de control de calidad en el puesto.

El ciclo de trabajo efectivo por hora y puesto será pues de: $3.870/2 = 1.935$ s.

TIEMPOS	Máquina transfer	Máq. mecaniz. (propós. gral.)	Robots	Carros filoguiados
Alimentación de 50 piezas/h	5 s/pieza = 250 s	0	0	8 s/pieza = 400 s
Paros programados	$4 \times 60 = 240$ s/h	$2 \times 60 = 120$ s/h	$5 \times 60 = 300$ s/h x máq. (hay 2)	0
Paros no programados e incidencias	$5 \times 60 = 300$ s/h	$10 \times 60 = 600$ s/h	$5 \times 60 = 300$ s/h x máq. (hay 2)	$3 \times 60 = 180$ s/h x maq. (hay 2)
TOTALES	790 s/h	720 s/h	1.200 s/h	1.160 s/h
Total global » »				3.870 s/h

Figura 9.19. Necesidades de tiempo para las actividades a cargo de la mano de obra.

Y de acuerdo con el mismo, trataremos de distribuir las actividades entre ellos, tal y como se hizo con las líneas de producción no automatizadas.

A fin de distribuir las tareas de forma que se ajusten a las necesidades de las máquinas y eviten en lo posible las interferencias entre ellas, operaremos atendiendo a tres procesos con las siguientes actividades (siempre por hora):

- Proceso 1:* Alimentación y evacuación de las máquinas que no la lleven a cabo automáticamente. Recordemos que se han previsto contenedores que permiten llevar a cabo las necesidades de carga y descarga por hora en una sola actividad; así pues habrá un solo proceso por máquina y hora, por lo que éste estará compuesto de las actividades y tiempos:

Proceso 1: 250-400 (carro 1)-400 (carro 2) segundos

- b) *Proceso 2: Intervención de un operario en los paros programados:* estos paros están referidos, en general, a un tiempo programado por jornada, por lo que reducidos a una única actividad que desarrollar por hora será más que suficiente (serán ocho *pasadas* para realizar actividades por máquina a lo largo de la jornada):

Proceso 2: 240-120-300 (robot 1)-300 (robot 2)

- c) *Proceso 3: Paros no programados e incidencias:* éstos tienen lugar de una forma aleatoria, y la mejor manera de cubrirlos adecuadamente, con la intención de minimizar el tiempo que quede sin atención una máquina o equipo que lo requiera, es hacer varias pasadas por hora por las mismas; así pues se llevarán a cabo tres intervenciones por hora y máquina que supondremos que demandarán un tiempo de una tercera parte del total necesario por hora cada una. De acuerdo con ello, el proceso, acumulando las intervenciones necesarias por hora en una sola, estaría compuesto por las actividades:

Proceso 3 (con una intervención por hora):

-600-300 (robot 1)-300 (robot 2)-180 (carro 1)-180 (carro 2)

En realidad se compondrá de las actividades cuyos tiempos son (con tres intervenciones por hora):

100-200-100-100-60-60-100-200-100-100-60-60-100-200-100-
100-60-60

A partir de aquí, podemos ya asignar las actividades a los puestos de trabajo, de forma que el proceso avance regularmente y esté equilibrado; utilizaremos, pues, la metodología de asignación de actividades por puestos, que ha sido ya expuesta para las líneas de producción en flujo con ciclo gobernado por operario, pero teniendo en cuenta que las intervenciones en las máquinas deberán distribuirse lo más regularmente posible (no es suficiente hacer tres pasadas por hora en una máquina; deberán, además, repartirse adecuadamente dentro de la hora y no realizarlas todas seguidas), por lo que alternaremos las actividades de alimentación-evacuación con las de paros programados y, sobre todo, con las de resolución de paros no programados e incidencias.

En el cuadro de la figura 9.20 se indica la distribución de tareas, asignándolas a los puestos de trabajo de acuerdo con las normas que hemos

dado y tratando de equilibrar las cargas de cada puesto.

En el citado cuadro se aprecian las actividades de los tres procesos (uno por columna) y cuál es la secuencia con la que son efectuadas por cada puesto de trabajo, ya que para cada actividad a asignar a un puesto, se ha introducido el tiempo de la misma según el proceso elegido, en la columna correspondiente.

Así, por ejemplo, el primer puesto lleva a cabo la primera actividad del primer proceso (250 segundos), luego la primera del segundo (240 segundos), luego la primera del tercero (100 segundos), para continuar con la segunda del segundo proceso (120 segundos) y las restantes del primer ciclo del tercer proceso (200, 100, 100, 60 y 60 segundos); luego pasa a la segunda actividad del primer proceso (400 segundos) e inicia una nueva ronda del tercero (100 y 200 segundos); como puede apreciarse, las actividades están fuertemente intercaladas, tal como hemos propuesto hacer. El segundo puesto se ha diseñado con la misma filosofía (véase figura).

Como también se aprecia en el cuadro de la figura 9.9, las tareas se han distribuido alcanzando un equilibrado casi absoluto de las cargas de los puestos de trabajo y ajustándose, por tanto, al ciclo determinado para ambos. En efecto, la carga total del primer puesto se ha quedado a solo 5 segundos del tiempo de ciclo (1.930 segundos frente a los 1.935 del ciclo) y la del segundo sobrepasa su ciclo en estos mismos 5 segundos, es decir que hay solo 10 segundos de diferencia entre las cargas de ambos, para un ciclo teórico de 1.935 segundos.

Con ello tenemos ya la planta *FMS* dispuesta para funcionar con la máxima eficiencia.

ASIGNACION DE TAREAS POR PUESTOS EN LINEA FMS						
Ciclo: 1.935 segundos						
Puesto	Actividades de los procesos			Tiempo actividad	Tiempo acum. puesto	Resto a ciclo
	Proceso 1	Proceso 2	Proceso 3			
1	250	240	100	250	250	1.685
			120	240	490	1.445
			200	100	590	1.345
			100	120	710	1.225
			200	200	910	1.025
			100	100	1.010	925
			100	100	1.110	825
			60	60	1.170	765
			60	60	1.230	705
			400	400	1.630	305
2	400	300	100	100	1.730	205
			200	200	1.930	5
			400	400	400	1.535
			300	300	700	1.235
			100	100	800	1.135
			100	100	900	1.035
			60	60	960	975
			60	60	1.020	915
			300	300	1.320	615
			100	100	1.420	515
			200	200	1.620	315
			100	100	1.720	215
			100	100	1.820	115
			60	60	1.880	55
			60	60	1.940	-5
Total global procesos » 3.870 segundos						

Figura 9.20. Asignación de tareas a los puestos de trabajo de la planta FMS.

1. El autor de este libro describe varios de estos dispositivos a lo largo de todo un capítulo de su libro Gestión integral de la calidad (Profit Editorial).

10

LA INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN PARA MÚLTIPLES PRODUCTOS, MODELOS O REFERENCIAS

Los procesos productivos rara vez producen una sola variante de un producto dado. Lo habitual es que de dicho producto haya varios *modelos* y, lo que es más, cada modelo pueda tener un conjunto de características que puedan cambiar —tamaño, color, prestaciones, elementos opcionales, etc.—, de forma que se cubran las distintas necesidades o gustos del mercado de una manera lo más completa posible. Ello dará lugar a lo que se conoce como *referencias* distintas de un mismo modelo. Raro es el producto que con uno o dos modelos y muy pocas referencias del mismo cubra bien el mercado. Un caso de este tipo ha sido el iPhone de Apple; es tan completo y cubre tan bien todas las necesidades, que han bastado un par de modelos (con distinto tamaño) y unas pocas referencias (de color y cantidad de Gb de memoria).

Pero ¿cómo diseñar e implantar procesos que obtengan productos con distintos modelos y múltiples referencias? Recordemos que los procesos de producción difieren y mucho en lo referente a su diseño e implantación de acuerdo con el modelo de gestión al que se ajustan.

En efecto, coincidiendo con lo expuesto en capítulos anteriores, sabemos

que el modelo tradicional de gestión utiliza implantaciones de tipo funcional, en las que opera en grandes lotes que mueve de una operación a otra mediante contenedores, carros, etc., y medios de transporte. Cuando fabrica componentes de un modelo o referencias del mismo (siempre que éstas afecten al componente), los procesa todos exactamente igual y, para cambiar de modelo o referencia, procesa otro lote. Los cambios que existan de un modelo a otro solo suponen variaciones en la ruta que sigue el componente dentro de la planta funcional. Nada realmente complicado.

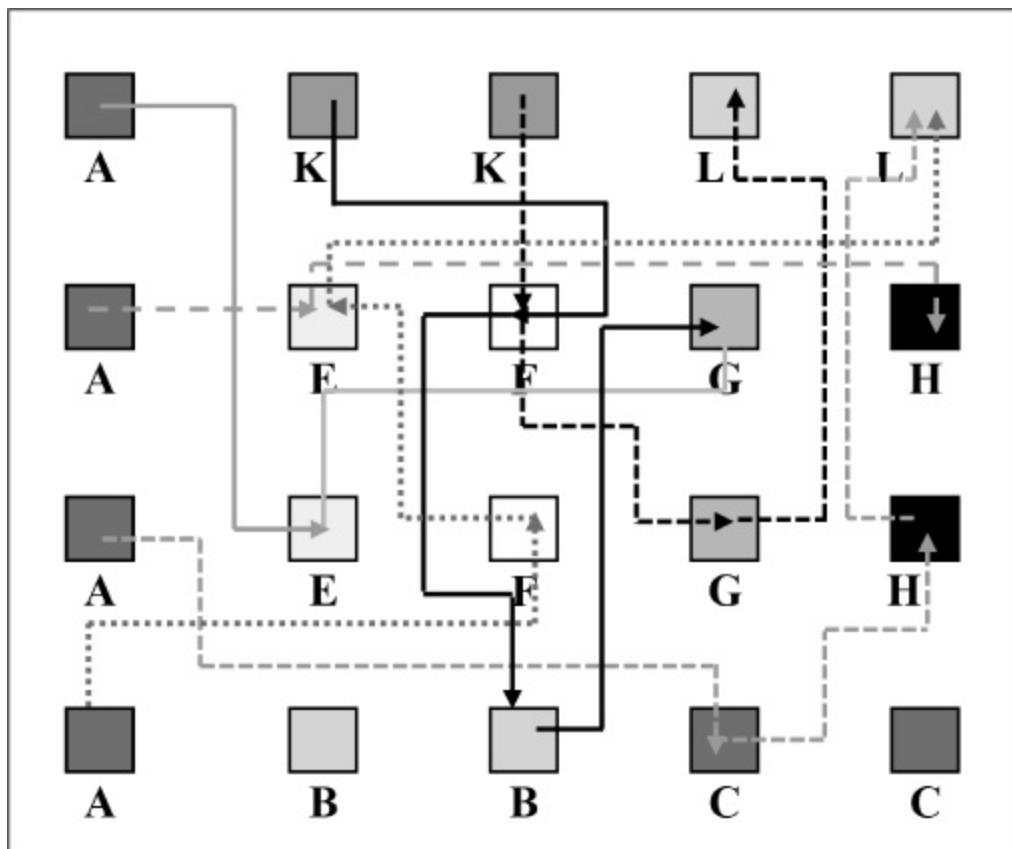


Figura 10.1. Trayectorias de distintos procesos en una planta funcional.

La figura 10.1 muestra una planta funcional, con las máquinas o puestos de trabajo fijos y el producto desplazándose entre ellos, en la que se han situado juntas las operaciones del mismo tipo (las A, B, etc.). Cada proceso tiene una nueva trayectoria dentro de la planta, pero sin tener que añadir más máquinas o puestos de trabajo, a no ser que se produzca un problema de capacidad.

Sin embargo, cuando se opera con las tendencias avanzadas en ingeniería de procesos, que hoy representa el *lean manufacturing*, no se utiliza la implantación

funcional; se trabaja en flujo o cadena y en lotes muy pequeños, frecuentemente de una sola unidad. La operativa en cadena se da también en la producción en masa tradicional, cuando se trata de procesos de ensamblaje, aunque la tendencia a operar con grandes lotes y otras características de este tipo de gestión se mantiene.

Cuando existen varios modelos de producto, cuyas diferencias supongan algún cambio en la secuencia de operaciones del proceso, esto nos llevaría a implementar una línea de producción en flujo para cada uno, con las operaciones que tengan. Además, si cada modelo puede tener varias —incluso muchas— referencias, disponer de una línea de producción en flujo para cada una sería una verdadera locura, ya que se requerirían muchas líneas que precisarían muchas máquinas y puestos de trabajo que ocuparían una gran superficie, además de que muchas de ellas estarían infrautilizadas.

La solución pasa por las líneas *multimodelo*, en las que se fabrican componentes o se montan distintos modelos de un mismo producto con sus referencias. Si los modelos requiriesen una elevada capacidad cada uno, podrían procesarse en líneas distintas, aunque las diferentes referencias es normal procesarlas en la misma línea, sobre todo en el ensamblaje. Hay que pensar que es habitual que existan muchas referencias de un solo modelo: con diez características distintas, se obtendrían cien posibles referencias por combinación de características. En efecto, en una cadena de montaje es posible que solo se monte un solo modelo (por ejemplo, el Renault Mégane, dado que la compañía tiene varias plantas en todo el mundo y normalmente dedica cada una a un solo modelo), pero las distintas referencias (motor, color, tapicería, acabados, etc.) se incorporan al producto en la misma cadena. Sería entonces una cadena *multirreferencia*. La figura 10.2 presenta una línea —de montaje— de muebles, en la que coexisten dos tipos de muebles.



Figura 10.2. Línea de ensamblaje multimodelo de muebles.

A este tipo de líneas, capaces de procesar productos que presentan diferencias, las denominaremos en general líneas *multiproducto*. De hecho, no siempre procesan componentes o montan modelos de un mismo producto. Las hay que pueden procesar distintos productos, sin más, ya que de lo que se trata es de que los procesos (y no los productos) tengan suficiente similitud para que puedan ser procesados en la misma línea. Así, por ejemplo, una línea de tallado de engranajes podría fabricarlos para muy distintos productos que necesitaran engranajes: desde un reloj de pared hasta una caja de cambio de automóvil.

De todas formas, para la ingeniería de procesos, la complejidad de una línea que opera en flujo para producir distintos productos, modelos o referencias, es muy superior a la de la implantación funcional. Se tratará de diseñar e implantar líneas capaces de procesar componentes o productos que presenten diferencias en cuanto a las operaciones que requieren. La figura 10.3 presenta las líneas en flujo correspondientes a los mismos productos presentados en la planta funcional de la figura 10.1. Obsérvese que cada línea procesa —en este caso— dos productos cuyas operaciones no coinciden más que en parte, pero ha de ser capaz de procesar ambos y con la máxima eficacia, lo que en *lean manufacturing* supone mantener el balanceado aunque cambie de producto, sin generar stock, ni operadores parados esperando. Nada realmente fácil.

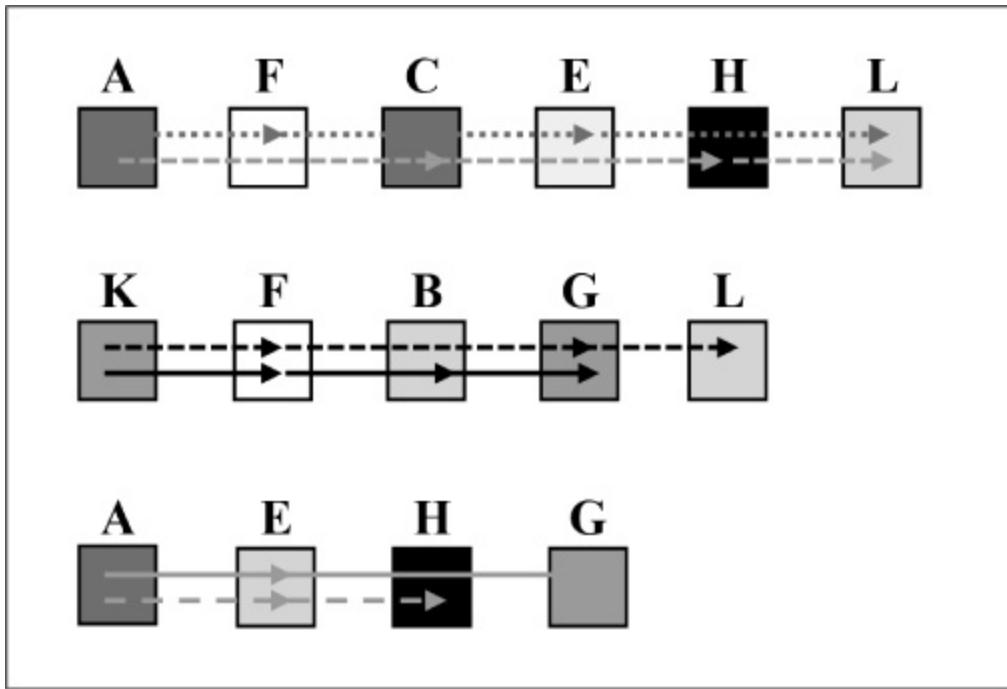


Figura 10.3. Procesos de la planta funcional en líneas multiproducto en flujo.

Así pues, las líneas multiproducto o multimodelo permiten una implantación en flujo pieza a pieza (la implantación ideal para el *lean manufacturing*), que pueda llevar a cabo la producción de productos con un cierto nivel de diferenciación, uno tras otro o bien mezclados. Por tanto, con la producción multiproducto trataremos de producir en flujo una gama de productos y lo haremos previa agrupación de éstos por familias, de forma que cada familia pueda ser procesada en una misma línea.

10.1. Tipos de producción multiproducto

La producción multiproducto puede llevarse a cabo de dos maneras:

- En lotes de uno de los productos y, al terminar cada uno, una preparación de cambio de formato si ha lugar. Identificaremos este tipo como producción en *series monoproducto* (*o monomodelo*).
- En un lote con todos los productos de la familia correspondiente a la línea multiproducto; habrá, pues, una mezcla de todos los productos en la misma serie. Se tratará de la producción *mezclada* (*o con mezcla*).

de modelos).

En la figura 10.4 se observan ambos tipos de producción multiproducto, para una línea de producción de muebles. En la parte superior, por series monomodelo: una serie del modelo A, un cambio de preparación, otra del modelo B, etc.

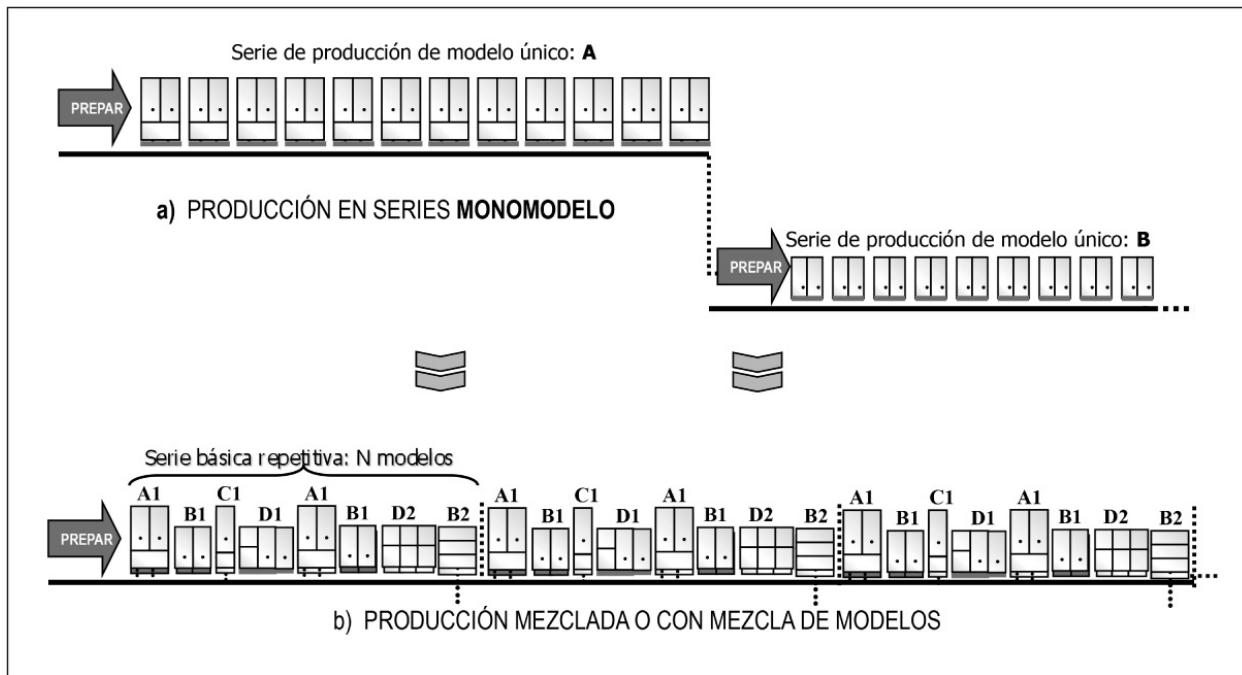


Figura 10.4. Modalidades de líneas de producción multiproducto o multimodelo.

En la parte inferior, la figura destaca la producción mezclada de los modelos A¹, B1, C1, D1, B2 y D2 en una secuencia concreta y cantidades asimismo concretas de cada uno: será la denominada serie básica, que se va repitiendo y cuya composición se lleva a cabo mediante la planificación basada en lo que se conoce como nivelado. Al iniciar la serie, se puede observar un tiempo de preparación de la misma, pero posteriormente no ha lugar, puesto que al cambiar el producto con tanta frecuencia que puede darse a cada unidad del mismo, no son posibles los paros por cambios de preparación. Ésta será una importante restricción de este tipo de producción mezclada.

Si la situación aconseja llevar a cabo la producción de una familia de productos en una única línea multiproducto —para lo que se han de cumplir ciertas condiciones—, los beneficios pueden ser muchos. Ante todo, la línea

de producción multiproducto supone realizar una única vez, para toda la familia de productos, la inversión en equipamientos y máquinas de dicha línea; además, se tendrá la posibilidad de saturarla sin necesidad de precisar un volumen de producción excesivo de ninguno de los productos de la familia.

Habrá otros recursos que se precisarán en menor cuantía también, como por ejemplo el espacio ocupado por la línea.

Pero más allá de todo ello está la posibilidad de reducir al máximo el nivel de stock en proceso y de producto acabado de cualquier modelo de la familia y, también, de reducir al máximo el *lead time* de cualquiera de ellos. En efecto, se puede aprovechar la disposición multiproducto —que permite alternar varios productos a la vez— para procesar lotes pequeños de cada uno o, incluso, muy pequeños, tan pequeños como de una sola unidad, en el caso de la producción mezclada. Todo ello se ajustaría muy bien, por cierto, a una implantación basada en el *lean manufacturing*. Así, no llegaría a acumularse ninguna cantidad relevante de stock de ninguno de los productos, ni en el proceso, ni en forma de producto acabado, y, en cambio, se dispondría con rapidez de cualquiera de ellos, lo que supondría que su *lead time* sería muy corto.

Por otra parte, podemos plantearnos también en qué condiciones es aconsejable implantar uno u otro tipo de producción multiproducto.

Efectivamente, parece que en la producción mezclada, las ventajas en todos los aspectos que acabamos de exponer alcanzan un nivel superior; sin embargo, se trata de una implantación bastante más compleja y no siempre posible de realizar (por ejemplo, cuando los tiempos de preparación no permiten mantener el proceso siempre en marcha, según hemos visto). Así pues, habremos de plantearnos cuándo es más conveniente uno u otro tipo de implantación multiproducto.

Los aspectos clave son:

- Ante todo, un aspecto crucial es la amplitud de la gama de producto. Sin ceñirnos a ningún sector de actividad concreto, podemos asegurar que una línea multiproducto con pocos modelos o variantes de producto resulta suficiente (y más cómoda) de implantar en formato *series monomodelo*, mientras que cuando hay mucha variedad (que podría llegar a cientos o miles) de referencias, resulta más

adecuada la producción *mezclada*. Los casos especiales, en que cada producto se efectúa de acuerdo con especificaciones concretas del cliente final (producción *a la carta*), se debería considerar como el extremo de amplitud de la gama.

- Un aspecto derivado del anterior es la variedad real de la gama de producto, referido no a la cantidad de variantes (que se ha tratado en el punto anterior), sino a las proporciones de cada una de las variantes. Así, por ejemplo, consideremos un ejemplo de cinco variantes de producto, de los que hubiera que producir un volumen total, en el que uno de los productos (llamémosle M) supusiera el 75 % del mismo y, los otros catorce, el 5% cada uno. Para el producto M se podría pensar en una línea monoproducto para él. Pese a ello, luego veremos que *troceando* el lote de producción de M, podría mantenerse el producto M en la línea multiproducto, sobre todo si quedara corta de carga de trabajo.
- Otro aspecto importante es el *lead time* de entrega del producto: si hubiera que acortarlo al máximo, ya sabemos que la producción mezclada será el tipo más adecuado, siempre que —una vez más— no hubiera otros condicionantes. Evidentemente, cuanto mayor sea la amplitud de la gama de producto, mayor será el *lead time* de cada uno, lo que concuerda con la conclusión a la que hemos llegado en relación con este punto: más opciones para la producción mezclada
- Asimismo, el nivel de stock, sea en proceso o en producto acabado, importa minimizarlo, por lo que la producción mezclada —nuevamente— es la mejor opción. Evidentemente, también aquí cuanto mayor sea la amplitud de la gama de producto, mayor será el stock acumulado de cada uno, lo que concuerda con la conclusión a la que hemos llegado en relación con este punto: más motivos para decantarse por la producción mezclada.
- Un aspecto particularmente importante, al que le dedicaremos especial atención cuando propongamos cómo diseñar la línea multiproducto, es que los distintos productos o modelos de la familia pueden estar o no sometidos a cada operación del proceso y con tiempos distintos. De haber cambios importantes en las operaciones y/o tiempos de cada producto, ello exigiría una redistribución de las tareas de los puestos de trabajo, cada vez que el producto avanzara

en el proceso, lo que implica que la reasignación de tareas debe ser muy simple o se condicionará de forma importante la posibilidad de producir en una línea multiproducto (que los productos sean realmente *familia* será determinante en este aspecto).

Finalmente, recordemos que es muy importante que puedan reducirse mucho (o realizarse *al primer toque*, sin parar el proceso) los tiempos de preparación por cambio de formato: cuanto más reducidos, menor será el tamaño de la serie de cada modelo de la familia y, solo el proceso no llegue a parar, podrá considerarse la opción de producción mezclada.

Como se puede observar, hay varios aspectos determinantes del tipo de producción multiproducto a elegir, y es la variante mezclada la que presenta más ventajas, aunque es más compleja y requiere más condiciones. Sin embargo, no podemos olvidar tampoco que hay casos en los que ésta es prácticamente la única opción, como sería la existencia de una gran amplitud de la gama de producto. Entonces habría que analizar cuáles serían los aspectos a resolver para que el tipo producción mezclada fuera viable (por ejemplo, reducir como fuera los tiempos de preparación) y, por supuesto, tratar de resolverlos.

10.2. Variedad real de la gama de productos. Análisis P-Q

Uno de los aspectos a tener muy en cuenta para evaluar la conveniencia de producir una familia de productos completa en una línea multiproducto, es la variedad real de la gama de producto, a la que hemos aludido en el epígrafe anterior. Al mismo tiempo, éste es un aspecto que, por lo que hemos expuesto allí, puede requerir alguna herramienta para evaluarlo, ya que los porcentajes de presencia de cada producto en la familia, deben ser analizados convenientemente.

La herramienta más adecuada y extendida para ello es el análisis P-Q. Para llevarlo a cabo partiremos de una relación de los lotes a producir en un período dado o, en su defecto, un histórico de lotes que se considere conveniente. La figura 10.5 presenta un ejemplo de esta relación para los

modelos de un producto dado.

En ella, el listado se halla ordenado por volúmenes, desde el mayor hasta el menor, para poder aplicar la regla de Pareto. En este listado nos centraremos en el número del lote (P) y el porcentaje acumulado del volumen del mismo lote (Q). La curva P-Q será el objeto de nuestro análisis. La figura 10.6 indica la evolución de la misma.

En efecto, en ella, además de estar representados mediante un gráfico de barras los volúmenes de los lotes de los distintos productos, se encuentra también la curva PQ en forma de arco con una pendiente decreciente. Si se cumpliera a rajatabla la regla de Pareto, el 20 % de los lotes supondría el 80 % del volumen de producción (le llamaremos perfil 20-80). No es el caso de la figura, en la que el 20 % de los lotes (dos de los diez) supone cerca del 60 % del volumen total de producción.

ANALISIS P-Q APLICADO AL MONTAJE DE MODELOS DE UN PRODUCTO

Lotes diferenciados

LOTE (P)	MODELO	VOLUMEN LOTE	TOTAL ACUMULADO	% TOTAL (Q)
1	E-100a	2.400	2.400	36%
2	E-100b	1.200	3.600	54%
3	E-100a	1.000	4.600	69%
4	E-100 LEa	500	5.100	77%
5	E-100a	500	5.600	85%
6	E-100 LEEU	400	6.000	91%
7	E-100b	300	6.300	95%
8	E-100a	150	6.450	97%
9	E-100 LEb	100	6.550	99%
10	E-100a	75	6.625	100%

Figura 10.5. Listado de lotes de modelos de un producto a producir.

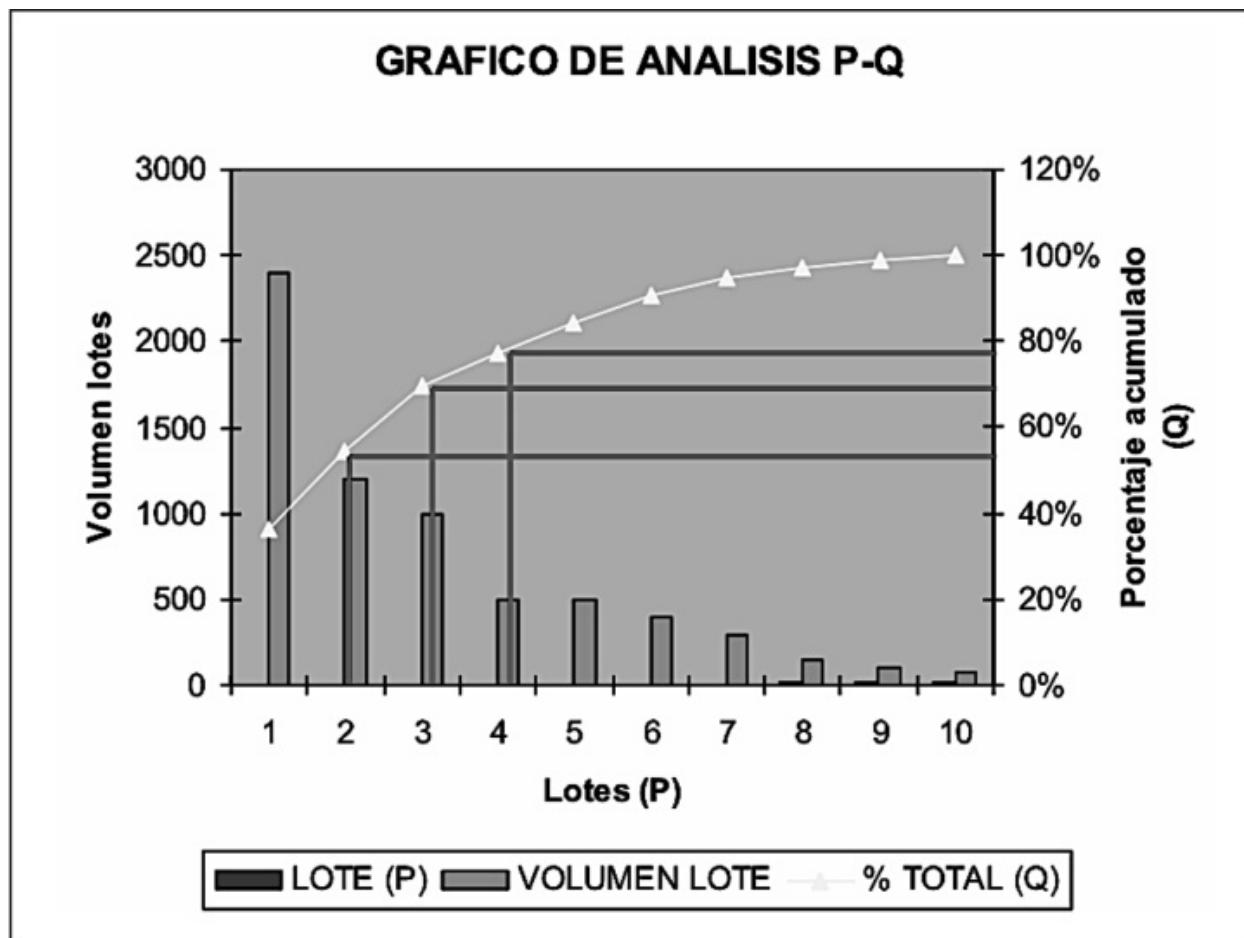


Figura 10.6. Curva P-Q de la evolución de los lotes.

Si hubiéramos obtenido un perfil 20-80, podríamos considerar que la variedad real de la gama de producto no es relevante, por lo menos para uno o dos productos, que deberíamos extraer de la familia y proceder a un nuevo análisis P-Q (primero podemos extraer uno de ellos —evidentemente el que presente mayor volumen en el listado— y probar con el resto, para luego, si ha lugar, extraer el segundo en volumen).

La realidad es que la curva P-Q de la figura 10.6 se ajusta más a un perfil 30-70 (el 30 % de los lotes supone un 70 % del resultado). En este caso y, más aún si el perfil fuera del tipo 40-60, sí podemos considerar que la variedad es suficiente para imponer una línea multiproducto que acoja todos los productos de la familia propuesta (en un perfil 40-60, podría incluso favorecer una producción mezclada).

¿Qué hacer si un producto presenta un volumen excesivo para el mix de productos de la familia pero, por otro lado, sería conveniente tratar de

incluirlo en una línea multiproducto con los demás (por ejemplo, para saturarla mejor y suponiendo que realmente sean todos ellos agrupables en una familia)?

Si operamos con una implantación *lean*, la solución podría ser sencilla: *trocear* el lote o lotes del producto o productos con volúmenes excesivos en pequeños lotes e intercalarlos entre los demás, como si se tratara de lotes de productos distintos. Ello conduciría a una operativa en lotes pequeños con una importante reducción de stocks y de *lead time*, es decir, en sintonía total con el *lean manufacturing*.

En realidad esto es justamente lo que hemos hecho en el listado de la figura 10.7: el modelo *E-100a* que antes aparecía en varias ocasiones, intercalado entre otros lotes, ahora aparece acumulado todo en un solo lote, lo mismo que todos los demás modelos que en el listado anterior se repetían.

ANALISIS P-Q APLICADO AL MONTAJE DE MODELOS DE UN PRODUCTO

Lotes acumulados

LOTE (P)	MODELO	VOLUMEN LOTE	TOTAL ACUMULADO	% TOTAL (Q)
1	E-100a	4.125	4.125	62%
2	E-100b	1.500	5.625	85%
3	E-100 LEa	500	6.125	92%
4	E-100 LEEU	400	6.525	98%
5	E-100 LEb	100	6.625	100%

Figura 10.7. Listado de la producción de cada modelo acumulada.

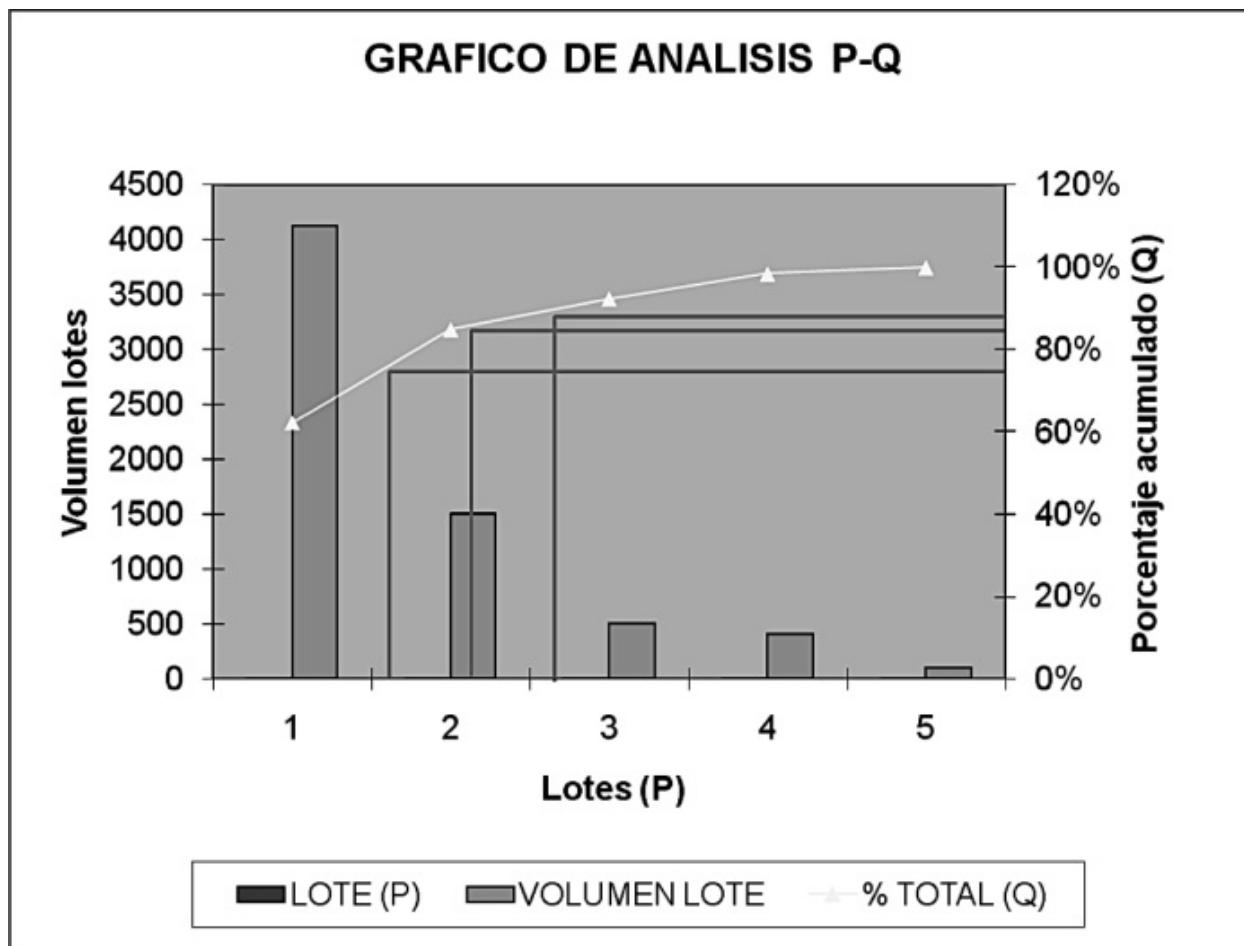


Figura 10.8. Nueva curva P-Q para lotes acumulados.

Calculando de nuevo los porcentajes acumulados para cada lote (reducidos ahora a cinco), podemos dibujar la nueva curva P-Q, que muestra la figura 10.8. Esta curva se ajusta ahora más a un perfil muy cercano al 20-80, con un modelo, por lo menos, que domina ampliamente el porcentaje de la producción total (el *E-100 a*). Así pues, *troceando* los lotes grandes en lotes mucho más pequeños podemos simular una variedad real que no existe, y a esto le llamaremos *plan de producción conveniente*.

10.3. Criterios para la correcta implantación multiproducto

Con lo expuesto hasta el momento, podemos ya abordar las condiciones para

decidir correctamente en qué ocasiones optar por diseñar e implantar una línea de producción multiproducto.

En la figura 10.9 se aprecia la cascada de criterios que es conveniente superar para decidirse correctamente por este tipo de implantación.

Tal como se observa en la figura, ante todo habrá que agrupar los productos por familias, lo que reunirá aquellos productos cuya producción pueda implantarse en una línea multiproducto, en virtud de la similitud de sus procesos. De no ser así, nos decantaríamos por una producción monoproducto: una línea, un producto.

De prosperar este criterio, el siguiente, según se observa en la figura, sería el de la relación carga-capacidad. En efecto, si varios productos pudieran optar a producirse en la misma línea, pero cualquiera de ellos supusiera una carga de trabajo que saturase la línea, no tendría sentido producir en una línea más compleja los tres productos, ya que precisaríamos otras tantas líneas iguales por una cuestión de capacidad (en casos especiales podría haber ventajas colaterales como multiproducto). Así pues, con una relación carga-capacidad elevada o muy elevada, en general, derivaríamos nuevamente la producción hacia una línea monoproducto.

El siguiente criterio se refiere a la variedad real de la gama de producto, aspecto que ya hemos mencionado, incluida la herramienta del análisis P-Q. En la figura 10.9 se observa claramente cómo el perfil 20-80 puede conducir de nuevo a la producción monoproducto, a menos que se opere con un *plan de producción conveniente* que, recordemos, alude a la posibilidad de *trocear* e intercalar los grandes lotes de un mismo producto. Los perfiles 30-70 y 40-60 pueden conducir a la producción multiproducto si superan el siguiente criterio, centrado en los tiempos de preparación.

De acuerdo con este último criterio, los tiempos elevados de preparación pueden conducirnos, nuevamente, a plantear una o varias líneas monoproducto. Si son más o menos elevados, exigirán series más o menos largas, lo que resta ventajas a la producción multiproducto. Además, procesando cada producto en una línea distinta, ésta estaría siempre *preparada* y nos ahorraríamos todo el tiempo de preparación. Solo con tiempos de preparación cortos, podremos abordar series asimismo cortas de producción del tipo monomodelo, y con tiempos nulos en lo referente a paradas reales del proceso (preparación *al primer toque*), pueden plantearse producciones con mezcla de modelos, si procede.

El resultado final son los tres tipos de implantación que encontramos en la parte baja de la figura 10.9: líneas monoproducto, líneas multiproducto monomodelo y líneas multiproducto mezcladas. De la primera a la última, el volumen de stock y el *lead time* van decreciendo.

10.3.1. Consideración de otros procesos multiproducto

Con el fin de disponer de un planteamiento completo de todas las posibilidades de producción multiproducto, más allá de las líneas en flujo, muy adecuadas para la ingeniería de procesos *lean*, en la figura 10.10 (en la página 329) se completan las alternativas presentadas en la figura 10.9, junto con las propias de la operativa funcional —procesos diseñados para su implantación en talleres— adecuadas para los procesos tradicionales de producción en masa, como sabemos sobradamente. Sin embargo, se contemplan también opciones especiales, sobre todo las que, bien sean las máquinas o bien el producto, son de grandes dimensiones y pueden acabar siendo adoptadas por todo tipo de enfoque del modelo de gestión.

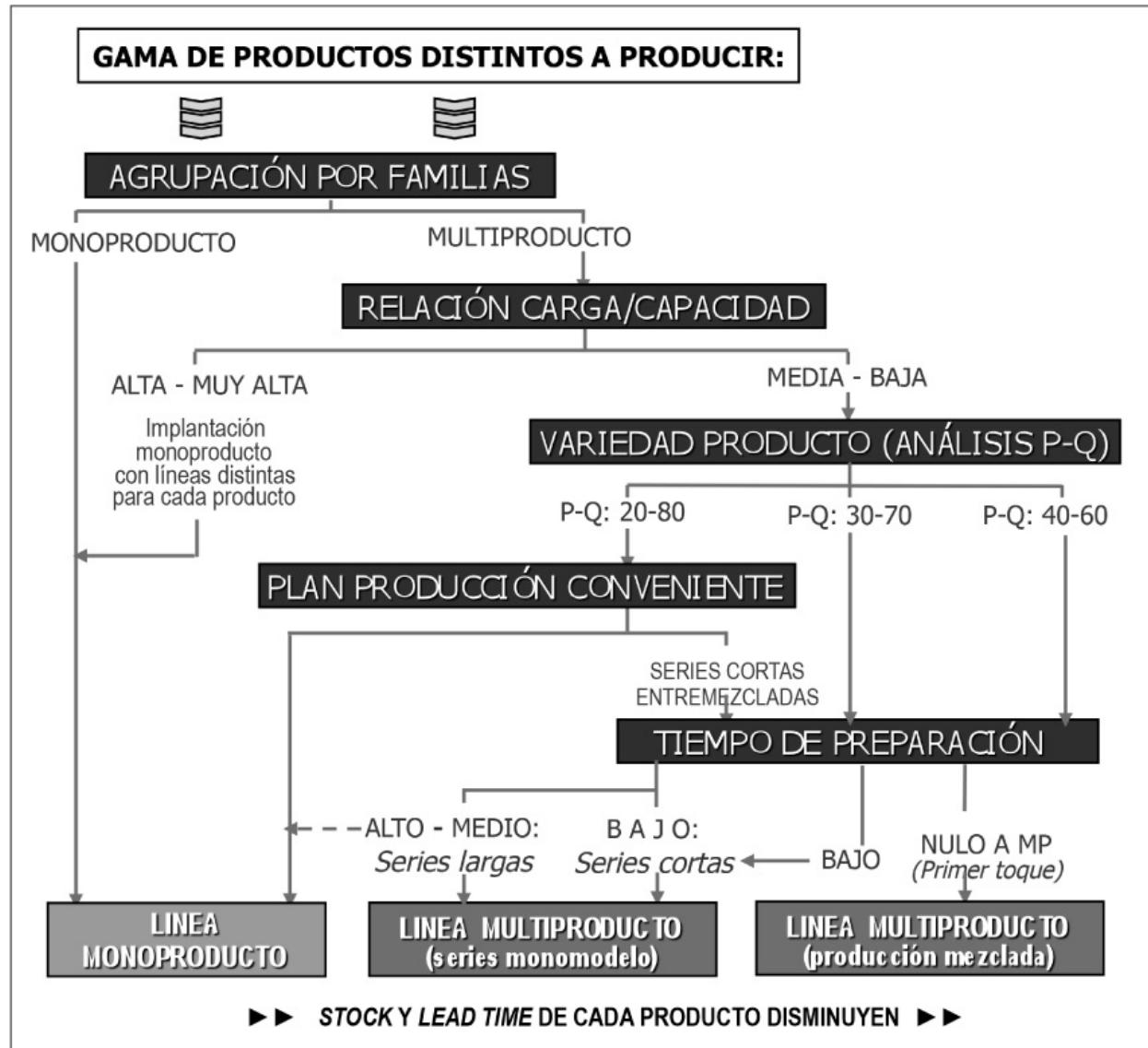


Figura 10.9. Cascada de criterios a superar para decidir una implantación multiproducto.

El esquema de la figura 10.10 comienza con una dicotomía relacionada con el tipo de proceso: fabricación o montaje, dado que en el montaje la ingeniería tradicional también se inclina por la implantación en flujo o cadena, excepción hecha de ocasiones excepcionales. En fabricación podemos decantarnos por una implantación mediante las líneas en flujo multiproducto, lo que nos conduciría a diseños adecuados al *lean manufacturing* o, por el contrario, a optar por implantaciones tipo taller.

Este tipo de implantaciones constituyen la novedad de esta figura respecto a la 10.9, por lo que vamos a centrarnos en ellas.

Tengamos en cuenta, ante todo, que una implantación de tipo funcional

(talleres) es, por definición, multiproducto, ya que ningún puesto se halla dedicado a un producto dado. Este aspecto es muy importante, pues su carácter multiproducto hace de las implantaciones de tipo taller algo realmente apetecible.

Aclarado este punto, revisemos las opciones de implantación tipo taller de la figura 10.10: el peso y/o volumen del producto es el primer aspecto a tener en cuenta. Si es trasladable por medios convencionales, tales como contenedores y carretillas elevadoras o transpaletas, puede implementarse la producción funcional por talleres de tipo tradicional. Si el peso o volumen es elevado, habrá que dilucidar quién se mueve en la planta: si lo hace el producto, aunque sea por medios especiales adecuados a su tamaño y peso (grúas, carrioles, etc.), la implantación podrá ser de tipo funcional, que, dimensiones aparte, no diferirá gran cosa de la normal.

Si, por el contrario, se mueven las personas y los medios de producción, tales como herramientas y útiles o equipamientos técnicos, mientras el producto permanece fijo, la implantación será de *puesto fijo*; de acuerdo con el volumen de producción, será de *puesto único* con una sola unidad, o una *cadena de puestos fijos* con varias unidades de producto alineadas una cerca de otra, mientras los trabajadores pasan de un producto a otro realizando la actividad o actividades de su especialidad. Este tipo de implantación, en la que lo único que no se mueve es el producto, es la última definida en la parte baja de la figura, y representa la opción totalmente contraria de la primera: el flujo o cadena de producción, en la que lo único que se mueve es el producto.

En cada una de las implantaciones de líneas multiproducto, entre las que se halla esta última, hemos distinguido entre implantaciones en células o en cadenas, ya que la figura 10.10 presenta todas las opciones de implantación.

La parte inferior de la figura 10.10 muestra, además, la existencia de flexibilidad en volumen de producción en las implantaciones de procesos en células flexibles diseñadas y operadas en flujo, ya sean de fabricación o de ensamblaje, sin más que aplicar los principios expuestos en su momento (*shojinka*).

En el lado opuesto, tenemos las implantaciones de tipo funcional, que operan con criterios de producción en masa. Como hemos comentado reiteradamente, estas implantaciones gozan de una gran flexibilidad en el tipo de producto, ya que, cambiar de producto es tan fácil como cambiar la ruta que determina la secuencia de operaciones. Es la gran baza de los talleres, que

permiten no solo cambiar fácilmente de producto, sino también saturar la capacidad de las máquinas al no estar necesariamente dedicadas a un producto concreto.

Sin embargo, hay un diseño con el que alcanzar la flexibilidad total, es decir, en relación con el tipo de producto y con el volumen de producción al mismo tiempo: las *líneas de producción en flujo multiproducto en un entorno lean*, que podríamos haber titulado «Diseño de líneas de producción con flexibilidad total». La figura 10.10 enseña esta doble flexibilidad para este tipo de líneas.

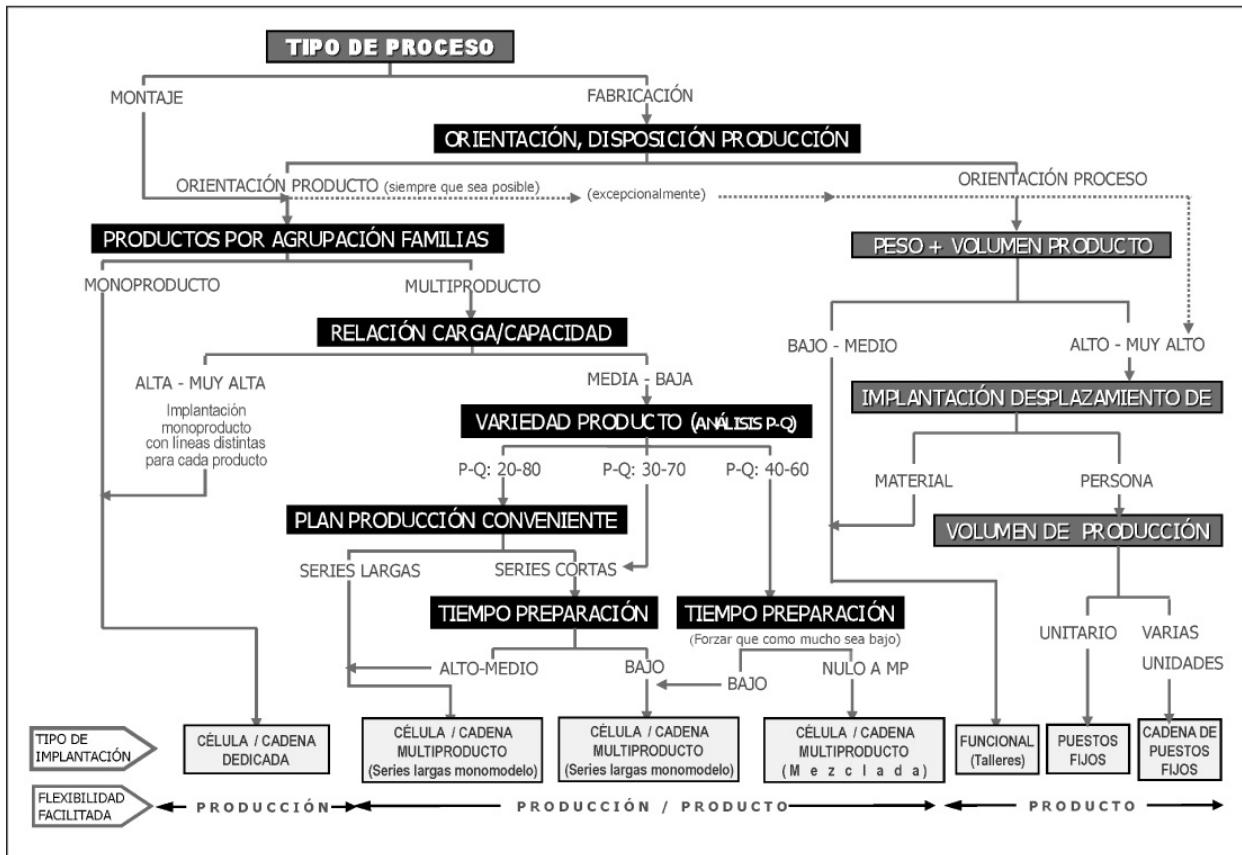


Figura 10.10. Clasificación de todos los tipos de implantación multiproducto, de acuerdo con los criterios aplicables.

10.4. Diseño de líneas multiproducto. Condicionantes

El diseño de procesos multiproducto lo centraremos, sobre todo, en los tipos

basados en la operativa en flujo y, desde ahora, son los únicos procesos a los que nos referiremos como *líneas multiproducto* (por la disposición en línea de los puestos de trabajo). La operativa de tipo funcional por talleres apenas presenta aspectos nuevos relevantes desde el punto de vista de la ingeniería de procesos, tal como ya se ha expuesto; sin embargo, haremos referencia también a cualquier aspecto a tener en cuenta para este tipo de implantación.

Todo lo contrario ocurre con las implantaciones en flujo multiproducto — propias de las implantaciones *lean*, tanto para la fabricación como para el montaje —, dado que presentan nuevos aspectos y una mayor complejidad de diseño, tanto por lo que se refiere a los derivados del tipo de implantación como a los relacionados con las exigencias del *lean manufacturing*: balanceado total de la línea (dificultado ahora por las diferencias de tiempo de los distintos productos en cada operación), minimización del stock, operadores ocupados permanentemente y eliminación de cualquier otro desperdicio.

Para el diseño de procesos multiproducto es necesario, ante todo, resolver los siguientes aspectos adicionales:

- *Agrupación por familias*: reunir en un mismo proceso multiproducto solamente aquellos productos para los que pueda establecerse un flujo común, para lo que las operaciones del proceso deberán presentar un cierto nivel de similitud.

Este aspecto será igualmente importante para la implantación por talleres que para las líneas multiproducto en flujo, propias del *lean manufacturing*.

- *Secuencia de las operaciones del proceso*: establecer el citado flujo de actividades del proceso, común para todos los productos.
Evidentemente, si cada producto o modelo de la familia tiene una secuencia de operaciones que puede presentar diferencias, debemos plantearnos cuál será la secuencia —única— de la línea a diseñar, que cumpla con todos ellos a la vez.

Este aspecto solo tiene interés para la implantación en flujo, ya que incide directamente en cuál ha de ser este flujo (qué operaciones lo componen y en qué orden).

10.4.1. Agrupación de productos por familias. Aplicación informática

Según hemos ya anticipado, se trata de agrupar en cada familia de productos aquellos cuyos procesos sean suficientemente similares para plantear su producción en una misma línea. Como recordará el lector, éste es un aspecto indispensable para cualquier implantación en una línea multiproducto.

Se trata de un problema que, con frecuencia, se puede resolver por decisión directa, sin aplicar técnica alguna, y esto es así por dos motivos:

1. Con gran frecuencia, la *familiaridad* entre productos o modelos (sobre todo entre estos últimos) se deduce por sentido común: distintos modelos de televisor son *familia*, mientras que televisores y reproductores de DVD no lo son (la lógica dice que sus procesos son demasiado distintos).
2. Si se comete un error al agrupar determinado producto en una familia, el siguiente problema que debemos resolver (la secuenciación de las operaciones de la línea) lo acusará y podremos apercibirnos del error y corregirlo entonces.

Sin embargo, no siempre es así, ni mucho menos. La figura 10.11 (en la página siguiente) presenta un ejemplo en el que la agrupación por familias es realmente compleja y es preciso hacerla bien. Dicha figura plantea una tabla con un conjunto de productos (componentes de un barco) en las cabeceras de columnas y los posibles procesos a que pueden ser sometidos en las cabeceras de filas, y se ha marcado con una cruz las casillas de intersección de los productos con los procesos a los que han de someterse.

En la tabla de la citada figura se aprecia claramente cómo han sido agrupados los productos en tres familias muy evidentes, ya que, dentro de cada familia y con pocas excepciones, los productos están sometidos a las mismas o casi las mismas operaciones y dejan de estarlo también en las mismas.

Por otra parte, la agrupación de productos por familias, atendiendo a la similitud entre sus procesos, es la base de la *tecnología de grupos (group technology GT)* que, en la actualidad, está ampliamente utilizada en células de producción flexible, donde una buena agrupación por familias permite realizar diseños muy eficientes y, además, facilita la simplificación de los mismos. Asimismo,

en la producción semiautomatizada y automatizada, la tecnología de grupos es fundamental. La tecnología de grupos, además, está siendo muy valorada porque facilita la estandarización de los diseños, la normalización de las piezas y la modularidad de los productos, por lo que podemos considerar realmente importante clasificar y agrupar los productos por familias.

Por todo ello, vamos a exponer una metodología para realizar la agrupación por familias que hemos elaborado cuidadosamente, tratando de que disponga de la suficiente potencia para ser aplicada a ocasiones complejas (como el de la figura ya expuesta), pero sin que presente una excesiva complejidad (como algunos métodos que suelen incluir un aparato matemático excesivo). La metodología que vamos a exponer tiene la potencia necesaria, pero es simple de entender y aplicar y, además, cuenta con la flexibilidad necesaria para permitir los ajustes finales que se consideren convenientes en el resultado de la agrupación; en realidad debe ser así, pues, normalmente, no hay una solución única al problema de la agrupación de productos por familias, depende del grado de similitud entre procesos que se pretenda. Por otra parte, esta metodología se puede emplear mediante una aplicación informática (que se suministra con este libro), que utilizaremos a continuación, para exponer cómo se lleva a cabo con ella la agrupación por familias.

Familias »		Familia 1					Familia 2					Familia 3				
Productos [componentes barco]		Superestructuras	Chapas de fondo Techo	Puentes superiores Tabiques entrepuentes	Puentes superiores remachados	Escotillas	Chapas de fondo y techos gruesos >12mm	Revestimiento costado derechos y soldados	Varengas	Puentes y tabiques superior a 12mm	Revestimiento costados perfilados y soldados	Piezas diversas	Revest. costado remachado	Revest. costado, techos y remachados	Revestim. costados, perfilados y remachad.	Revestim. costados moldeados c/cregletas Moldead. remachadas
Procesos																
Estirado	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Cepillado	X	X	X	X												
Oxi-corte								X								
Trazado	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Punzonado					X									X	X	
Taladrado													X	X	X	
Oxi-corte	X		X	X		X	X		X	X	X	X	X	X	X	
Cizallado	X		X	X					X		X					
Punzonado	X															
Cepillado	X	X	X	X	X											
Fresado												X	X	X	X	
Rodillo										X	X	X		X	X	
Prensado									X	X					X	
Plegado	X				X											
Soldadura	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X						
Remachado												X	X	X	X	
Forja											X				X	
Número de procesos	9	5	7	8	5	4	4	4	5	6	8	7	6	8	9	
Coincidencias por productos	5	5	5	5	4	4	4	3	4	4	4	6	5	5	6	

Figura 10.11. Caso-ejemplo ilustrativo de la agrupación de productos por familias.

DESCRIPCIONES ↓ PROCESOS	DESCRIPC. PRODUCTOS → → →	Nº Producto >>														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Corte en tronzadora	P1								1			1	1			
Corte en sierra circ.	P2		1				1									
Prensa estampación	P3	1								1						
Torneado	P4			1				1		1		1		1	1	
Prensa embutición	P5	1			1		1				1					
Troquelado	P6	1			1		1				1					
Torneado	P7		1											1		1
Roscado	P8	1			1						1					
Roscado exterior	P9							1							1	
Chafanado	P10									1						
Taladrado	P11		1				1		1							1
Roscado interior	P12		1				1									1
Soldadura	P13			1	1	1		1	1							
Desbarbado	P14				1		1				1					
Polido	P15				1				1			1	1			

Figura 10.12. Matriz productos-procesos de caso-ejemplo para agrupar por familias.

PRODUCTO ↓ ↓	NÚMERO DE PROCESOS EN COMÚN DE CADA PRODUCTO CON CUALQUIER OTRO:														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1				3		2				4					
2						3		1					1		3
3				1	1		2	2	1		2	2	1	1	
4	3		1		1	3	1	1		4			1		
5		3	1	1			2	1				1			2
6	2		3							3					
7		1	2	1	2			1	1		1	1	1	1	1
8		2	1	1		1					2	3			
9		1				1					1		1	2	
10	4		4		3							2	1	1	
11			2			1	2	1							
12		2	1	1		1	3			2					
13		1	1			1		1		1			1	1	
14			1			1		2		1		1			
15		3		2		1					1				

Figura 10.13. Procesos comunes que tienen entre sí, los productos a agrupar.

Para comprenderla mejor, la expondremos aplicándola a un ejemplo de una complejidad similar a la de la figura anterior. La figura 10.12 presenta los datos en un cuadro con los productos y los procesos a que debe estar sometido cada uno, indicados por medio de un 1 en la casilla correspondiente. Este cuadro se halla en la pestaña «Datos» de la aplicación informática.

A partir de esta matriz, se ha de elaborar el cuadro de la figura 10.13, en el que se han anotado cuántos procesos comunes tienen los distintos productos entre sí. Ésta es una tarea algo farragosa, que justifica que se implemente la metodología en una aplicación informática. El usuario no encontrará este cuadro en ella porque se halla oculto, dado que no ha de usarlo, ni le aporta ninguna información que precise. En este cuadro, trataremos de localizar los productos que tienen más procesos comunes con otros; este máximo número de procesos comunes resulta ser de cuatro —resaltado claramente en la figura — y se ubica donde se encuentran las columnas y filas de los productos 1, 4 y 10.

Estos productos formarán la base de la familia 1 de la agrupación y, a partir de ella, trataremos de averiguar si podemos añadir algún producto más a la misma. Para ello plantearemos si se admitirán en ella productos con procesos comunes con otros, aunque sea en cantidad inferior al máximo determinado anteriormente (4), decidiendo cuál ha de ser este mínimo número de coincidencias de procesos, para, luego, decidir cuántos procesos comunes entre

sí han de presentar los productos elegidos para esta familia.

La figura 10.14 indica cómo resultará la familia 1 —que el *software* enseña seleccionando la pestaña correspondiente— eligiendo para ella productos con un mínimo de dos coincidencias con otros y dos entre ellos. También se informa del máximo número de coincidencias existente. La familia así resultante está integrada por los productos 1, 4, 6 y 10. El recuadro de fondo gris indica los productos y sus procesos, y se observan coincidencias que permiten agruparlos en una única familia; de no ser así, deberíamos seguir intentándolo, ensayando con nuevas cifras de coincidencias.

A partir de ahí trataremos de obtener la familia 2 utilizando el mismo procedimiento, aunque evitando los productos de la familia 1 (en el *software* se halla en la pestaña de esta familia). Con los productos restantes decidiríamos el mínimo de coincidencias de procesos con otros productos y el mínimo de coincidencias entre los seleccionados para constituir la familia 2; finalmente, entre los productos resultantes se decide si se admiten como familia o hay que seguir intentándolo con nuevos ajustes en los valores de las coincidencias.

De la misma forma continuaríamos actuando para constituir nuevas familias de productos, hasta agotar el total de los que nos hemos propuesto agrupar. El *software* lo presenta en las pestañas correspondientes a cada familia. Concretamente se podrían obtener las siguientes agrupaciones de familias:

- Familia 2: Productos 2, 5 y 15.
- Familia 3: Productos 3 y 7.
- Familia 4: Productos 8, 11 y 12.
- Familia 5: Productos 9, 13 y 14.

Efectuadas las agrupaciones, podemos presentar ahora cómo queda el conjunto de todos los productos tras las mismas. En la figura 10.15 se contempla la matriz inicial de la figura 10.12, con los productos ordenados de acuerdo con las agrupaciones efectuadas (el *software* lo señala en la pestaña «Agrupación final»), que han sido resaltadas con recuadros encabezados con el nombre de cada familia.

Sobre las agrupaciones resultantes podemos efectuar los ajustes finales que consideremos oportunos, teniendo en cuenta que la agrupación por familias no tiene, normalmente, una única solución. La figura 10.16 muestra la matriz de

la figura anterior, una vez fundidas en una sola familia las anteriormente denominadas 3 y 4, al considerarse que presentan suficientes similitudes. En el *software* se encuentra en la misma pestaña «Agrupación final», en una segunda matriz que existe a la derecha de la primera.

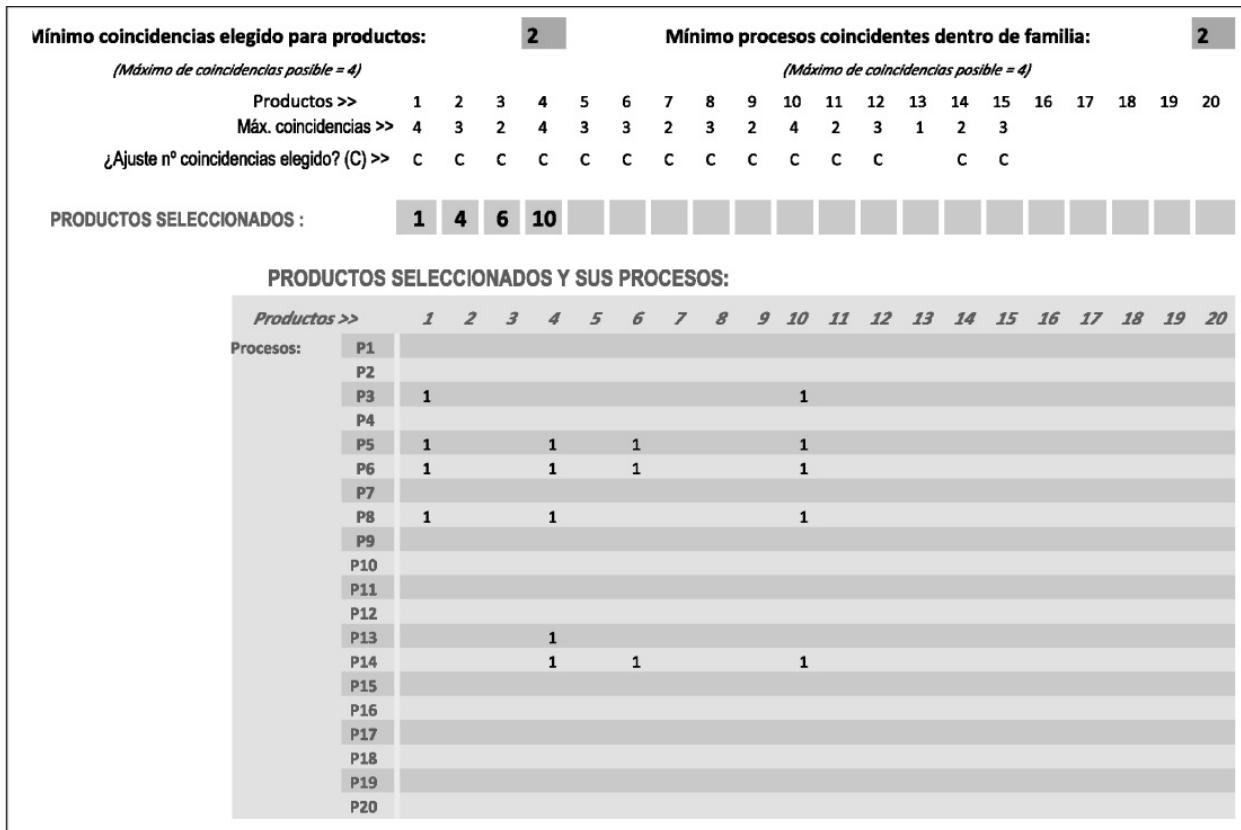


Figura 10.14. Constitución de la familia 1.

Producto >>	FAMILIA 1				FAMILIA 2			FAMILIA 3		FAMILIA 4			FAMILIA 5		
	1	4	6	10	2	5	15	3	7	8	11	12	9	13	14
P1										1	1	1			
P2															
P3	1			1											
P4											1				
P5	1	1	1	1											
P6	1	1	1	1											
P7					1		1							1	
P8	1	1		1											
P9										1					
P10														1	1
P11					1	1	1			1					
P12					1	1	1								
P13	1					1			1	1					
P14	1	1	1								1	1	1		
P15								1			1	1	1		

Figura 10.15. Matriz con la agrupación resultante de productos y sus procesos.

En la figura se observa una gran similitud entre los procesos de los productos dentro de cada familia. Sin embargo, existen productos con algún proceso aislado ausente en los demás de su familia, así como algún producto con un proceso que no tiene ningún otro más.

¿Cómo procederemos? En el de procesos muy presentes en una familia, pero que se precisan para uno o muy pocos productos de otra (casos de P7 y P11 en los productos 13 y 7, respectivamente), si no implican una inversión importante, ni ocupan un espacio necesario, ni consumen recursos adicionales, podemos incluirlos —duplicándolos o, incluso, triplicándolos— allí donde sean requeridos, aunque sea solo para un producto, sobre todo si ello no representa operadores con poca carga de trabajo (en *lean manufacturing* la polivalencia puede evitarlo). Si no se dieran estas circunstancias, convendría no repetir el proceso en más de una familia; la producción de un producto encuadrado en una familia que no dispusiera del proceso, pero que lo

precisara, debería organizarse correctamente mediante una salida del flujo y un retorno, gestionados mediante un sistema *kanban* o similar.

Nº Producto >>	FAMILIA 1				FAMILIA 2			FAMILIA 3				FAMILIA 4			
	1	4	6	10	2	5	15	3	7	8	11	12	9	13	14
P1															
P2								1	1						
P3	1														
P4											1	1			
P5	1	1	1	1											
P6	1	1	1	1											
P7						1		1							1
P8	1	1		1											
P9										1					
P10											1				
P11						1	1	1							
P12						1	1	1							
P13	1						1			1	1	1			1
P14	1	1	1							1	1	1			
P15										1	1	1			

Figura 10.16. Agrupaciones por familias tras el ajuste final.

Cuando se trate de un proceso requerido por un solo producto, no vamos a agrupar o dejar de agrupar el producto en una familia por este solo hecho; es el resto de los procesos de este producto el que debe decidir la conveniencia de hacerlo. Así, por ejemplo, el producto 7 precisa el proceso P9, que no tiene ningún otro producto, pero requiere otros tres procesos que sí se hallan presentes en otros productos y, dos de ellos, son de la misma familia que él.

10.5. Secuencia de operaciones de una línea multiproducto

En ingeniería de procesos, la secuencia de las operaciones de los procesos es un aspecto clave, pero en las líneas multiproducto supone un problema añadido,

debido a que los productos que se obtienen en ellas tienen ciertas diferencias y, entre otras, en mayor o menor grado, las operaciones que componen sus procesos y su secuencia. Así pues, si estas secuencias no son iguales, habremos de plantearnos cuál deberá ser la secuencia del proceso para satisfacer todos los productos de la familia. Dicha secuencia deberá cumplir dos condiciones:

- Que ningún producto de la familia tenga que volver atrás en ningún momento del flujo de su proceso. Es una condición obligada.
- Que para evitarlo no hayamos de repetir operaciones, siempre que sea posible. Repetir una operación sin una carga específica para ella puede implicar una inversión que no se amortice adecuadamente.

Para resolverlo, emplearemos un método muy conocido y útil: la *gama ficticia*, llamada así porque propone una gama (es decir, una secuencia) que no coincide con la de ningún producto de la familia a producir en la línea (ficticia).

El objetivo fundamental de este método debe ser el de configurar una secuencia de operaciones tal que:

Expondremos el método mediante un caso-ejemplo a partir de la figura 10.17, en la que podemos apreciar cinco modelos de silla de cuero: *TC* (tubo cromado), *TP* (tubo pintado), *TC plegable* (modelo *TC* en versión plegable), *TP plegable* (modelo *TP* en versión plegable) y *ChP* (de chapa de acero pintada). La figura indica asimismo la secuencia de operaciones de cada modelo.

En la figura se ha ilustrado el método de la *gama ficticia*. Nos situaremos en la operación de la esquina superior izquierda (*Cortar* del modelo *TC*) y se traza una línea vertical a su derecha que ha de continuar hacia abajo, hasta que encuentre la misma operación en los productos que siguen, lo que ocurre con los cuatro primeros, pero no con el último (modelo *ChP*); al llegar a éste, se continúa trazando la línea, pero por la izquierda de la operación en cuestión. Prolongando esta línea la hacemos llegar hasta un recuadro en el que se anota la operación “apartada” por la línea (*Cortar*) y el número de productos situados a la izquierda de ella (4). Ésta será, salvo rectificaciones posteriores, la primera operación de la gama ficticia. Esta operación ya no se repetirá, puesto que se han *apartado* con la línea vertical todas las del mismo tipo.

A continuación se procede igualmente con otra operación que se encuentre a continuación de la línea ya trazada: podrá ser la de doblar, taladrar, pintar y estampar. Elegiremos esta última, trazando una línea que deje la operación de estampar a su izquierda y se situará la operación de estampar en el recuadro inferior, con un 1, las veces que ha aparecido a la izquierda de la línea.

En la elección de la operación a apartar primará que se recojan todas las del mismo tipo, para evitar repetirlas después. Por otro lado, el método asegura la otra condición: que el flujo de producto siempre vaya hacia delante.

Continuando siempre de la misma manera, se termina la gama que, finalmente, queda configurada como se observa en el recuadro inferior de la figura 10.17. Aparecen destacadas las operaciones que se repiten: tan solo lo hace la de pintar, en un caso para un producto y en el segundo para otros dos. Si resulta inevitable, se deberá disponer el proceso así; sin embargo, en el próximo epígrafe veremos algunas opciones que pueden evitarlo.

	Op. 1	Op. 2	Op. 3	Op. 4	Op. 5					
Silla modelo TC	Cortar	Doblar	Soldar	Cromar	Ensamblar					
Silla modelo TP	Cortar	Doblar	Soldar	Pintar	Ensamblar					
Silla modelo TC plegable	Cortar	Taladrar	Cromar	Ensamblar						
Silla modelo TP plegable	Cortar	Pintar	Premontar	Ensamblar						
Silla modelo ChP	Estampar	Soldar	Premontar	Pintar	Ensamblar					
Secuencia gama »	Cortar	Estampar	Doblar	Taladrar	Pintar	Soldar	Cromar	Premont.	Pintar	Ensambl.
Nº productos/puesto»	4	1	2	1	1	3	2	2	2	5

Figura 10.17. Obtención de la gama ficticia para un conjunto de productos de una familia.

La elaboración de la gama ficticia permite comprobar, además, si la agrupación por familias está bien hecha, al analizar las operaciones de la gama que se repiten, cuántas veces se repiten y a cuántos productos se aplican. En la circunstancia que nos ocupa solo se repite la de pintar y se repite una sola vez; en los productos en los que se encuentra, hay otras operaciones que se han podido reunir bien con las de otros productos (doblarse, soldar, cromar y ensamblar, sobre todo). Por todo ello, podemos concluir que la agrupación por familias es correcta.

10.5.1. Gama ficticia con procesos cuyas precedencias pueden variar

Una de las posibilidades de mejorar la gama eliminando repetición de operaciones pero manteniendo siempre el flujo hacia delante es aprovechar la posibilidad de más de una alternativa en las precedencias en la secuencia de cada producto. El supuesto que acabamos de utilizar difícilmente podrá permitir la alteración de la secuencia de ningún producto (así, no se puede soldar antes de doblar, ni cromar antes de soldar), pero la figura 10.18 presenta un en el que se dan posibilidades de alteración de las precedencias.

Así, el diagrama de precedencias de la parte baja de la figura indica que en la producción A, B y D se puede comenzar por la operación *a* o por la *d*. Si se comienza por la operación *a*, luego podemos proseguir con la *b* o con la *d*. Aplicando estas posibilidades, se ha elaborado la *gama ficticia* para el conjunto de los cuatro productos, en la figura 10.19.

PRODUCTO A		PRODUCTO B		PRODUCTO C		PRODUCTO D	
Operación	Precedencias	Operación	Precedencias	Operación	Precedencias	Operación	Precedencias
a	—	a	—	b	—	a	—
b	a	b	a	c	b, e	b	a
c	a, b, d, e	c	a, b, d	e	b	d	—
d	—	d	—			e	a, b, d
e	d						

```

graph TD
    subgraph PA [PRODUCTO A]
        a1((a)) --> b1((b))
        b1 --> c1((c))
        d1((d)) --> e1((e))
        e1 --> d1
    end
    subgraph PB [PRODUCTO B]
        a2((a)) --> b2((b))
        b2 --> c2((c))
        d2((d)) --> b2
    end
    subgraph PC [PRODUCTO C]
        b3((b)) --> e3((e))
        e3 --> c3((c))
    end
    subgraph PD [PRODUCTO D]
        a4((a)) --> b4((b))
        b4 --> e4((e))
        d4((d)) --> e4
    end

```

Figura 10.18. Productos con distintas alternativas en las precedencias de sus operaciones.

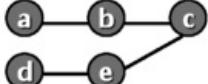
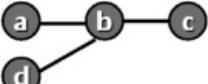
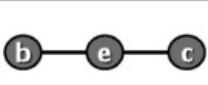
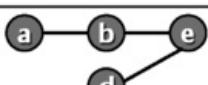
PRODUCTO		OPERACIONES POSIBLES ENTRE LAS QUE ELEGIR PARA INCLUIR EN LA SECUENCIA						
A		a	d	b	e	c		
B		a	d	b		c	c	
C			b	b	e	c		
D		a	d	b	e			-
GAMA FICTICIA		a	d	b	e	c		

Figura 10.19. Gama ficticia con alternativas en las precedencias.

Para ello se han consignado, para cada producto, las alternativas de operación a efectuar en cada caso, en lugar de la operación única como se hizo anteriormente. Así, las primeras operaciones de los distintos productos son las alternativas: $a/d-a/d-b-a/d$

Pudiendo ahora elegir la alternativa que más veces se presente, se ha elegido a como primera operación y las alternativas para la segunda operación han quedado como siguen: $d/b-d-b-d/b$

En esta ocasión elegiremos la operación d para proseguir con la secuencia de la gama ficticia. Así se continuará hasta completar la gama que, finalmente, ha resultado ser: $a-d-b-e-c$, sin necesidad de repetir operación alguna y, desde luego, manteniendo el flujo del producto siempre hacia delante.

10.6. Diseño de líneas de producción multiproducto: método de redistribución de capacidades

Conocida la secuencia de operaciones de la línea de producción, estamos ya en

disposición de proceder al *diseño de líneas completas de producción en flujo multiproducto*, que entra de lleno en las funciones de la ingeniería de producto y que la ingeniería de planta habrá de implantar físicamente.

Queremos insistir en la gran cantidad de exigencias que estas líneas plantearán para lograr diseños altamente eficientes y flexibles, lo que exigirá, a su vez, una metodología más potente que la empleada para el diseño de líneas monoproducto. Dichas exigencias se concretan en los siguientes objetivos:

- Disponer, en cada puesto de trabajo, la *capacidad* de producción necesaria, adecuada a la *carga* de trabajo, para que se halle debidamente saturada. Los conceptos de *carga* y *capacidad* de los puestos serán ahora una herramienta muy potente.
- Balanceado permanente de la línea, aunque cambie el modelo de producto.
- Reducción al mínimo de las inactividades en los puestos de trabajo. Éste será el principal problema que aparecerá, cumplido el objetivo del balanceado.
- Minimizar el número de trabajadores del total de puestos de trabajo de la línea completa permitiendo que, en función del producto, puedan redistribuirse las tareas entre los puestos de trabajo.

El logro de todos estos objetivos simultáneamente en una línea multiproducto es muy difícil, especialmente si no se dispone de una línea con la suficiente flexibilidad en su implantación y formación polivalente de personal. La potencia que requiere la metodología que emplear se basará en manejar los conceptos de *carga* y *capacidad*, que resumimos en el esquema que sigue:

CARGA (de un puesto): Volumen de producción previsto para el mismo, por unidad de tiempo

Concepto paralelo al de **TAKT TIME** (el tiempo de ciclo exigido por la demanda)
que se corresponde con el **CICLO MÁXIMO**

CAPACIDAD (de un puesto): Cantidad de producto que puede procesar por unidad de tiempo

Concepto paralelo al de **TIEMPO DE CICLO** del proceso real de un puesto
que se corresponde con el **CICLO REAL o MEDIO**

Para comenzar, no podremos plantearnos ir añadiendo y quitando trabajadores a la línea cada vez que se cambie de producto (y menos aún en una línea de producción mezclada), por lo que operaremos con un equipo de trabajadores fijo. Para plantear este aspecto, recordemos la expresión de cálculo que utilizábamos anteriormente para determinar el número de trabajadores, que era:

$$n = Q \times TP/TD$$

En ella, la producción Q y el tiempo de proceso TP variarían al cambiar de producto (con lo que el número de trabajadores variaría también), mientras que el tiempo disponible para operar sería fijo. Para mantener un equipo de trabajo fijo, invertiremos los términos de la anterior expresión como sigue:

$$TO = Q \times TP/n$$

De forma que, manteniendo fijo el equipo de trabajo de n personas, haremos ahora variable el tiempo disponible para operar (TO); pero este tiempo será ahora el que emplearemos para la producción de un producto dado y cuando ésta termine comenzaremos con un nuevo producto que, con toda probabilidad, exigirá un tiempo TO distinto.

10.6.1. Metodología de redistribución de capacidades

Para ilustrar cómo puede realizarse el diseño de líneas de producción multiproducto que cumplan todos los objetivos propuestos y especialmente para exponer cómo puede lograrse el equilibrado junto con la ausencia de infrautilización, operando siempre con un equipo de personas fijo, vamos a exponer la metodología por medio de un ejemplo muy sencillo, basado en un taller de elaboración de publicaciones encuadradas a partir de páginas fotocopiadas. El proceso, muy simplificado, constará de dos únicas operaciones (con un puesto de trabajo cada una): fotocopiar (F) y encuadrinar (E), con una producción planificada que muestra la tabla de la figura 10.20 en la columna *carga*.

La jornada laboral es de 10 horas, las que están operando los puestos de trabajo, es decir, cada una de las dos operaciones. Llamaremos *carga unitaria Cu*

a la carga por hora, que se calculará para cada operación (*i*) y producto (*k*). De ahí que nos refiramos a ella como *Cuik*. Las cargas unitarias evaluadas en la tabla señalan que los productos son muy distintos en cuanto a las necesidades de las dos operaciones. Esto hará más difícil el diseño del proceso al operar siempre con el mismo personal y manteniendo el balanceado.

Operación >> Productos	Fotocopiar (F)		Encuadrinar (E)		Carga unit. total por productos
	Carga	Carga unitaria	Carga	Carga unitaria	
A	60	60/10 = 6	20	20/10 = 2	8
B	10	10/10 = 1	30	30/10 = 3	4
Total global:					12

Figura 10.20. Datos del caso-ejemplo del taller de encuadernación.

Así pues, deberíamos poder efectuar la producción de A y de B en un solo día con 12 trabajadores. Sin embargo, con un planteamiento convencional, basado en operaciones independientes y trabajadores especialistas, si se desea llevar a cabo cualquiera de los dos productos A o B, deberá proveerse cada operación con el máximo de la carga unitaria requerida por uno u otro producto, es decir: F: Máximo (6,1) = 6; E: Máximo (2,3) = 3

O sea que el proceso productivo debería disponer de $6 + 3 = 9$ puestos. Las infrautilizaciones resultan evidentes: Si se lleva a cabo el producto A, la operación E tendrá un puesto desocupado y si es el B, la operación F tendrá ¡cinco! Si lo que deseamos es realizar una producción diaria equivalente a la carga de A más la de B, se precisará doblar la capacidad. Por tanto se necesitarán $9 \times 2 = 18$ puestos, lo que supone $18-12 = 6$ puestos más de los teóricamente necesarios.

Existe, sin embargo, un planteamiento de la línea que permite resolver el problema sin infrautilización, al mantener la línea equilibrada y cumplir con todos los objetivos que nos hemos propuesto para el diseño de líneas multiproducto altamente eficientes, planteo que exigirá un diseño flexible.

Según se ha visto, la carga diaria total de A y B conjuntamente es de 12 puestos. Este número de puestos es el que utilizaremos como equipo de

trabajo fijo de la línea no especializados en F ni en E, sino dotados de polivalencia (aunque será suficiente que la tengan solo algunos puestos). Dedicaremos primero los doce puestos a la producción de un producto, por ejemplo A. La capacidad aplicada será lógicamente superior a la necesaria (12 puestos frente a 8 que exige A según la tabla de la figura 10.20), lo que permite operar con la línea solo una fracción del día, que evidentemente será los 8/12 del tiempo, es decir, el 66,6 % del día. La carga disponible deberá aplicarse a cada puesto según sigue:

- ✓ Carga a aplicar a F: $6 \times (12/8) = 9$ puestos
- ✓ Carga a aplicar a E: $2 \times (12/8) = 3$ puestos

De esta forma, la línea estaría, además, equilibrada. Los 12 puestos se distribuirían tal como aparece en la figura 10.21, en la que, en la parte superior, se han determinado las cargas unitarias por puesto para el producto A, de forma que se utilicen en total 12 puestos.

En cuanto al producto B, se llevaría a cabo un replanteamiento de las operaciones similar, al operar con los mismos doce puestos que A. La propia figura 10.21, esta vez en la parte inferior, marca cómo se ha realizado la distribución de tareas por puestos, que han dado lugar a tres puestos de tipo F y nueve de tipo E. Esta vez se completará la producción de B en 4/12 del tiempo disponible diario, es decir, el 33,3 % del día. Así pues, la producción de A más la de B requerirá el $66,6\% + 33,3\% = 100\%$ del tiempo diario, que se habrá logrado con los doce trabajadores que se han determinado como los necesarios.

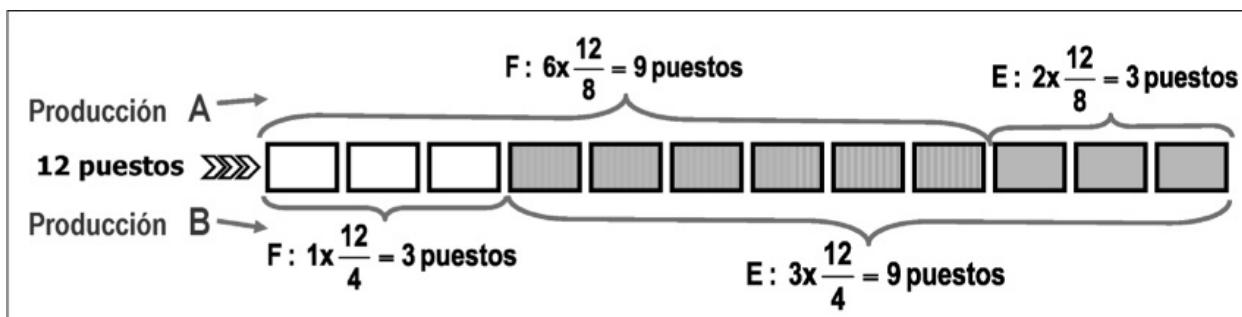


Figura 10.21. Distribución de tareas por puestos, para la producción de A y de B.

Sin embargo y, como se aprecia claramente en la figura 10.21, hemos

exigido un nivel importante de flexibilidad, incluida la polivalencia del personal, ya que algunos puestos de trabajo deben cambiar de actividad (de F a E), para pasar de producir el producto A al B. Más concretamente, los puestos de la izquierda, identificados con fondo blanco, se ocupan de fotocopiar, tanto si se produce A como si se produce B. Los de la derecha, con fondo gris, siempre se dedican a encuadernar. Sin embargo, los puestos intermedios, con fondo tramado a rayas blancas y grises, seis en total, fotocopian cuando se produce A y encuadernan cuando se produce B. De no haber polivalencia, estos seis puestos estarían especializados en F o en E y deberíamos disponer de otros seis con la especialización opuesta. Es decir, precisaríamos seis trabajadores más, que con los doce que hemos utilizado, darían dieciocho, que coinciden con los que hemos comentado anteriormente que demandaría un sistema convencional con personal especialista.

Naturalmente, la flexibilidad exigirá, además, que haya un exceso de equipamientos de fotocopiar y de encuadernar, que estén parcialmente parados (algunas fotocopiadoras en el caso del producto B y algunos equipos de encuadernar en el de A). Pero ya sabemos que la flexibilidad del modo de operar del *lean manufacturing* comporta y admite un exceso de capacidad.

A partir de lo obtenido, podemos pasar ya a proponer la solución para el caso general de una línea multiproducto, con varios procesos que deberán producir una familia de productos. La figura 10.22 señala cómo generalizar los cálculos de las cargas unitarias que hemos efectuado. En efecto, tomando los cálculos realizados en el tema planteado, para uno de los puestos de trabajo (F) con uno de los productos (A), en la parte superior izquierda de la tabla, podemos identificar las magnitudes con las que se ha operado y obtener la expresión general de cálculo. Dichas magnitudes son:

- 6: Carga unitaria de F para el producto A . En general será Cu_{ik} .
- 12: Carga total: cantidad total de puestos de trabajo. En general: CT .
- 8: Suma de las cargas unitarias de los puestos de A . En general: $\sum_i Cu_{ik}$

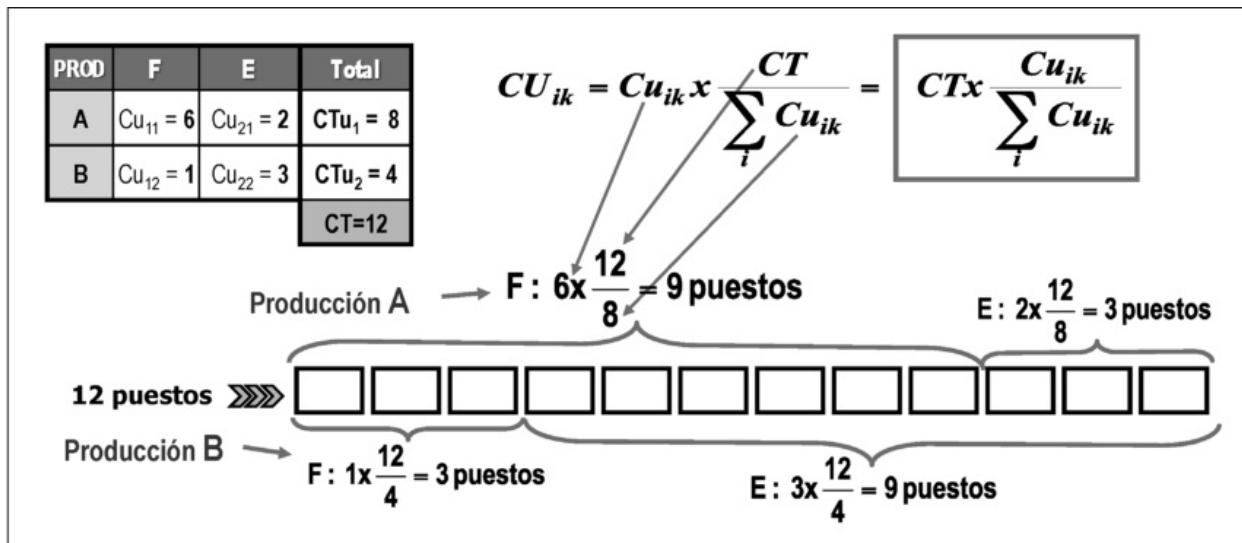


Figura 10.22. Determinación de la carga unitaria por producto y puesto, para el caso general.

Así pues, la expresión de la nueva carga unitaria de cada operación i en la producción de cada producto k , tras aplicar la metodología de la *redistribución de capacidades*, será la obtenida en la parte superior derecha de la figura 10.22, en la que cada término está referido, mediante una flecha, a uno de los del asunto resuelto que acabamos de identificar. Esta nueva carga unitaria será:

$$CU_{ik} = Cu_{ik} x \frac{CT}{\sum_i Cu_{ik}} = CT x \frac{Cu_{ik}}{\sum_i Cu_{ik}}$$

Comprobemos ahora que la expresión cumple todas y cada una de las condiciones que le hemos exigido para alcanzar la elevada eficiencia pretendida:

- *Operar con un equipo de trabajo fijo con todos los productos:*
Efectivamente, sea cual sea el producto que obtener, hemos empleado una fuerza de trabajo fija, igual a CT .
En el caso-ejemplo utilizado, era $CT = 12$ tanto para A como para B.
- *Carga total de línea para cada producto:*
La carga total de la línea para el producto K es:

$$CTU_k = \sum_i CU_{ik} = \sum_i CT \times \frac{CU_{ik}}{\sum_i CU_{ik}} = CT \times \frac{\sum_i CU_{ik}}{\sum_i CU_{ik}} = CT$$

Así pues, la carga total necesaria para todos los productos CT se aplica a cada producto... pero tan solo una fracción del tiempo.

Concretamente en el caso-ejemplo utilizado, el cálculo que acabamos de efectuar de una forma general sería para el producto A:

$$CTU_1 = 12 \times \frac{6}{8} + 12 \times \frac{2}{8} = 12 \times \left(\frac{6}{8} + \frac{2}{8} \right) = 12 = CT$$

- *Tiempo de proceso por producto:*

La fracción del tiempo disponible aplicada a producir cada producto es:

$$\frac{CTU_k}{CT}$$

Con ello, el tiempo total de operación para todos los productos, expresado en fracción de jornada, será:

$$\sum_k \frac{CTU_k}{CT} = \frac{1}{CT} \times \sum_k CTU_k = \frac{CT}{CT} = 1$$

Con lo cual, entre todos cubren exactamente la jornada.

Para el caso-ejemplo utilizado sería:

$$\frac{1}{12} \times (8 + 4) = \frac{12}{12} = 1$$

(el 100 % del tiempo disponible, como debe ser)

- *Equilibrado o balanceado de la línea:*

La producción por puesto i y producto k , con CP_{ik} la capacidad q_k la producción total a realizar, es:

$$P_{ik} = CU_{ik} \times CP_{ik} = CT \times \frac{CU_{ik}}{\sum_i CU_{ik}} \times \frac{q_k}{CU_{ik}} = CT \times \frac{q_k}{\sum_i CU_{ik}}$$

Dado que la expresión no depende de la operación i , todas ellas

realizarán la misma producción y, por tanto, la línea estará equilibrada.

Podemos comprobarlo para los dos puestos del caso-ejemplo utilizado para el producto 1 (A):

$$P_{11} = 12 \times \frac{60}{6+2} = 90$$

y la misma expresión y resultado daría el cálculo para P21.

- *Volumen de producción diaria por productos:*

La producción por puesto i y producto k que acabamos de obtener, operando durante el tiempo de producción efectivo ya conocido, daría lugar a la producción diaria siguiente:

$$P_k = P_{ik} \times \frac{\sum_i Cu_{ik}}{CT} = CT \times \frac{q_k}{\sum_i Cu_{ik}} \times \frac{\sum_i Cu_{ik}}{CT} = q_k$$

Es decir, la que se había planificado exactamente.

Para el caso-ejemplo utilizado la producción diaria sería:

$$\frac{12}{8} \times 60 \times \frac{8}{12} = 60$$

Es decir, la producción que se había previsto obtener.

En conclusión, el diseño de la línea efectuado, con las asignaciones de tareas por puestos y productos propuestas por el *método de redistribución de capacidades* cumple todas las condiciones que podemos exigir al sistema productivo para ser altamente eficiente y flexible, al ajustarse también totalmente a las exigencias del *lean manufacturing*.

El número de puestos de trabajo obtenido normalmente no será entero, como ya ocurrió en los diseños realizados en procesos monoproducto. Por ello, igual que entonces, se habrá de redondear al entero superior para conseguir el número de puestos de trabajo real. Las diferencias a que ello dará lugar serán, también aquí, de escasa importancia.

Para terminar, haremos un ajuste final de la expresión obtenida con la metodología basada en la *redistribución de capacidades*:

$$CU_{ik} = CT \times \frac{Cu_{ik}}{\sum_i Cu_{ik}} = CT \times \frac{\frac{q_k}{CP_{ik}}}{\sum_i \frac{q_k}{CP_{ik}}} = CT \times \frac{\frac{1}{CP_{ik}}}{\sum_i \frac{1}{CP_{ik}}}$$

10.6.2. Determinación de las cargas unitarias totales para un caso completo, con utilización de una aplicación informática

Vamos a desarrollar el diseño de una línea de producción multiproducto para el montaje de dispositivos para la reproducción de discos DVD. Los datos de las operaciones y sus tiempos se han de entrar en la pestaña *Operaciones* de la aplicación informática desarrollada para efectuar el diseño de la línea (que se suministra con el libro), que muestra una tabla que se ha reproducido en la figura 10.23 (en la página siguiente). En ella se han introducido la mencionada información para tres modelos de producto.

SECUENCIA OPERACIONES por modelos				Gama ficticia	DESCRIPCIÓN OPERACIONES
100	100U	100UM			
32	32	32		32	Preparar placa
33	33	33		33	Insertar y fijar panel electrónico
34	34	34		34	Insertar y fijar euroconectores
35	35	35		35	Insertar y fijar conectores fibra óptica / coaxial
36	36	36		36	Insertar y fijar conector Jack
37	37	37		37	Ensamblaje del sensor de infrarrojos
38	38	38		38	Ensamblaje de la entrada de la antena
39	39			39	Ensamblaje de salida de audio
40	40	40		40	Conectar puertos E / S a panel electrónico
		39		39	<i>Ensamblaje de salida de audio</i>
41	41	41		41	Ensamblaje del mecanismo de carga
42	42	42		42	Ensamblaje del lector
		44		44	<i>Ensamblaje del sistema de alimentación</i>
43	43	43		43	Ensamblaje dispositiv. servomecánicos/servoeléctricos
44	44			44	Ensamblaje del sistema de alimentación
45	45			45	Insertar y fijar la botonera
46	46	46		46	Insertar y fijar el display
		45		45	<i>Insertar y fijar la botonera</i>
47	47	47		47	Cableado y conexionado

Figura 10.23. Códigos de las operaciones, gama ficticia y descripciones.

En esta tabla, además, se elabora la secuencia de operaciones de la línea multiproducto, es decir, la *gama ficticia*, a partir de los códigos de las operaciones de los tres posibles productos. Para ello, estos códigos deben introducirse de modo que en una misma línea siempre se encuentre el mismo, aunque para ello haya que dejar líneas en blanco (véase la figura). Es la forma de elaborar la gama ficticia en formato de tabla. Así pues, como en cada fila habrá los mismos códigos para los productos que lo tengan, éste será el código a incluir en la gama ficticia que, en nuestro caso, el programa reserva en una columna a la derecha. En otra columna, a la derecha de la anterior, se pueden introducir las descripciones de las operaciones de dicha gama ficticia.

En la misma pestaña y en sendas tablas al efecto situadas a la derecha de la anterior (véase la figura 10.24), se introducen los datos de tiempos de las

operaciones de cada producto/modelo de la línea a diseñar, tanto por lo que se refiere a los tiempos de trabajo como a los de máquina.

Existe, además, una columna para el trabajo y otra para las máquinas, para introducir un coeficiente, en forma de porcentaje de aumento de los anteriores tiempos, para obtener los tiempos reales de operación.

Gama ficticia	Tiempos modelo: Elimag 100				Tiempos modelo: Elimag 100 U				Tiempos modelo: Elimag 100 UM			
	Operación (seg)		% defect.	Final ud. (seg)	Operación (seg)		% defect.	Final ud. (seg)	Operación (seg)		% defect.	Final ud. (seg)
	Trabajo	Máquina	y paros	Trabajo	Máquina		Trabajo	Máquina		Trabajo	Máquina	
32	8			8,0			8			8,0		
33	10			10,0			11			11,0		
34	10		10,0%	11,0			10		10,0%	11,0		
35	9			9,0			10			10,0		
36	14			14,0			15			15,0		
37	10		6,0%	10,6			12		6,0%	12,7		
38	12		12,0%	13,4			15		12,0%	16,8		
39	12		8,0%	13,0			12		8,0%	13,0		
40	15			15,0			19			19,0		
39			5,0%						5,0%			
41	12		12,0%	13,4			12		12,0%	13,4		
42	15		10,0%	16,5			15		10,0%	16,5		
44												
43	13			13,0			15			15,0		
44	12			12,0			12			12,0		
45	16		5,0%	16,8			18		5,0%	18,9		
46	12		10,0%	13,2			14		10,0%	15,4		
45			4,0%						4,0%			
47	28		5,0%	29,4			32		5,0%	33,6		

Figura 10.24. Datos de tiempos de trabajo y máquina para todos los productos.

Este coeficiente habrá de incluir todo cuanto suponga una modificación del tiempo teórico inicial (tiempos NVA, defectos, transportes, preparaciones) y, por supuesto, también añadirá la frecuencia de la operación, si no ha sido introducida en el tiempo base, lo que supone referir el tiempo a la unidad de producto acabado, en lugar del tiempo de la operación en sí (por ejemplo, si una operación ha de efectuarse dos veces para cada unidad de producto acabado, el tiempo registrado para la operación se habrá de multiplicar por dos).

Por lo que se refiere al asunto del reproductor DVD, observamos que no se dan tiempos de máquina, que es así porque que se trata de un proceso de montaje manual; los códigos de las operaciones —del 32 al 47— son los correspondientes a este proceso exclusivamente. Dado que el mismo se desarrolla en flujo y tiene muchas operaciones manuales, se ha de ser muy exigente con el equilibrado, sea cual sea el enfoque de gestión —con enfoque tradicional en masa, el montaje también suele hacerse en cadena—, y, además, es habitual que los procesos de montaje se implanten en flujo, en *líneas multiproducto*.

Por lo que se refiere a la gama ficticia, observamos que se repiten algunas operaciones (39, 44 y 45), debido a que no aparecen en el mismo orden en los tres productos. Por lo demás, no ha habido mayor dificultad, dada la similitud de los tres modelos de reproductor DVD.

La siguiente pestaña, *Cargas-capacidades*, enseña una pantalla con una tabla en la que, a partir de los tiempos de las operaciones ya determinados en la pestaña anterior, se determinan ahora las capacidades y las cargas unitarias para cada operación de la gama ficticia y para cada uno de los productos. La figura 10.25 (en la página 354) representa la citada tabla.

En ella, el usuario tan solo tiene que entrar el tiempo disponible para operar diariamente, en la misma unidad de medida que los tiempos de ciclo. A partir de ahí, el programa calcula las capacidades y cargas unitarias para cada operación de la gama ficticia (situada en la columna de la izquierda) y para cada producto. Como resultado, el propio programa calcula también la carga unitaria total (número de puestos de trabajo necesarios) y el total de ellos para todos los productos. El usuario tan solo debe decidir entonces si procede diseñar una línea multiproducto (con este total de puestos) o varias líneas monoproducto a partir de los valores de la carga unitaria total de cada producto: si son tan bajas que para justificar una línea dedicada al producto, un solo puesto o muy pocos deban realizar todo el proceso, posiblemente sea más conveniente una línea multiproducto, cuyo total de puestos (la suma de los de cada producto) sea más adecuado. En cuanto al reproductor DVD, las cargas unitarias para los tres modelos son, respectivamente, 2,274-2,095- 0,463, siendo el total de todos ellos 4,8325. Consideraremos más oportuno realizar el montaje con 4,8 puestos de trabajo (que acabaremos por redondear a 5) en una sola línea multiproducto, con el ahorro en inversiones y espacio que ello implica. A partir de ello, el programa calcula —en una zona no visible de la pantalla, debajo de la tabla mostrada— las cargas unitarias obtenidas mediante el método de redistribución de capacidades, que el lector ya conoce, pero cuyo cálculo sin el *software* sería realmente farragoso. La tabla de la figura 10.26 (en la página 355) muestra este cálculo.

Obsérvese que una vez aplicado el método de redistribución de capacidades, la nueva carga para cada producto y, por tanto, el número de puestos de trabajo, es exactamente igual para todo ellos, e igual al total de la necesaria, calculada ya en la tabla de la figura 10.25.

A continuación se ha de determinar cuánto tiempo de la jornada se

empleará para cada producto (recuérdese que esto es precisamente lo que cambia de uno a otro y no el número de trabajadores, que permanece fijo). En el *software* hay que situarse en la pestaña *Tiempos*, en la que el programa calcula automáticamente y sin intervención del usuario el tiempo que la línea multiproducto ha de dedicar a cada producto.

El cálculo se realiza, tal y como se expuso en su momento, en función de la fracción de carga unitaria de cada producto respecto a la carga unitaria total de todos ellos. La figura 10.27 (en la página 356) hace referencia a la tabla que presenta la citada pantalla.

Además del tiempo de producción de cada producto, la tabla destaca la capacidad de producción diaria de cada uno de ellos, que coincide con el llamado *factor base* de la figura 10.26. Su valor se obtiene de calcular $CU_{ik} \times CP_{ik}$.

Finalmente, la tabla indica también la producción diaria real de cada producto, habida cuenta del tiempo que la línea opera con él. Naturalmente, dicha producción diaria real ha de coincidir con la que se había planificado efectuar.

10.7. Diseño de la línea multiproducto con asignación de tareas a los puestos de trabajo

Finalmente, ya se puede diseñar la línea multiproducto con sus puestos de trabajo, que serán los obtenidos con la metodología de redistribución de capacidades en el epígrafe anterior. La asignación de las tareas que habrá de efectuar cada puesto se hará producto a producto, por medio de la aplicación informática utilizada en dicho epígrafe, mediante un último módulo que, para que pueda adaptarse a un diseño tradicional y a un diseño *lean*, se ha duplicado ocupando las dos últimas pestañas de la aplicación. En el tema del reproductor DVD, se ha dedicado la primera pestaña (*Puestos-Cd*) a una implantación del montaje en cadena tradicional recta y la segunda (*Puestos-Ce*) a una de tipo celular *lean*. La distribución de tareas por puestos se lleva a cabo como sigue:

Ante todo, el programa provee la identificación de las operaciones y sus cargas unitarias determinadas por el método de redistribución de capacidades, producto a producto. La figura 10.28 (en la página 357) muestra la pantalla de

la pestaña *Puestos-Cd* de la aplicación informática, con la citada información en las dos columnas de la izquierda de la tabla que existe para cada producto. En la siguiente columna de cada tabla, la denominada «Puesto agrupado», se introduce un código de puesto para el primero de ellos, en la línea correspondiente a la primera tarea que asignarle (un 1 en la figura). En la columna a la derecha de la anterior se introduce un número de trabajadores para el puesto creado (normalmente se comienza con un 1).

Tiempo operativo diario (seg.): 28.800			Carga total diaria en la línea (uds.): 600						
CARGA DÍA			CAPACIDADES Y CARGAS UNITARIAS para el trabajo						
OPERAC.	TIEMPO (seg)	Capacidad	Carga Unitaria	TIEMPO (seg)	Capacidad	Carga Unitaria	TIEMPO (seg)	Capacidad	Carga Unitaria
32	8,0	3.600,0	0,083	8,0	3.600,0	0,069	10,000	2.880,0	0,017
33	10,0	2.880,0	0,104	11,0	2.618,2	0,095	12,0	2.400,0	0,021
34	11,0	2.618,2	0,115	11,0	2.618,2	0,095	11,0	2.618,2	0,019
35	9,0	3.200,0	0,094	10,0	2.880,0	0,087	10,0	2.880,0	0,017
36	14,0	2.057,1	0,146	15,0	1.920,0	0,130	15,0	1.920,0	0,026
37	10,6	2.717,0	0,110	12,7	2.264,2	0,110	12,7	2.264,2	0,022
38	13,4	2.142,9	0,140	16,8	1.714,3	0,146	20,2	1.428,6	0,035
39	13,0	2.222,2	0,135	13,0	2.222,2	0,113			
40	15,0	1.920,0	0,156	19,0	1.515,8	0,165	20,0	1.440,0	0,035
39							16,8	1.714,3	0,029
41	13,4	2.142,9	0,140	13,4	2.142,9	0,117	13,4	2.142,9	0,023
42	16,5	1.745,5	0,172	16,5	1.745,5	0,143	16,5	1.745,5	0,029
44							12,0	2.400,0	0,021
43	13,0	2.215,4	0,135	15,0	1.920,0	0,130	18,0	1.600,0	0,031
44	12,0	2.400,0	0,125	12,0	2.400,0	0,104			
45	16,8	1.714,3	0,175	18,9	1.523,8	0,164			
46	13,2	2.181,8	0,138	15,4	1.870,1	0,134	16,5	1.745,5	0,029
45							26,0	1.107,7	0,045
47	29,4	979,6	0,306	33,6	857,1	0,292	36,8	783,7	0,064
Carga unitaria por puestos teóricos: 2,274			2,095			0,463			
Carga unitaria total de la línea multiproducto: 8325						Decisión: Línea multiproducto			

Figura 10.25. Tabla con el cálculo de las capacidades y cargas unitarias para todos los productos.

CARGAS TEÓRICAS RESULTANTES POR MODELOS						
Modelo: Elimag 100			Modelo: Elimag 100 U		Modelo: Elimag 100 UM	
FACTOR BASE »		637,43		576,73		521,51
OPERAC.	1 / Capacidad	Nueva carga unit.	1 / Capacidad	Nueva carga unit.	1 / Capacidad	Nueva carga unit.
32	0,00028	0,17706	0,00028	0,16020	0,00035	0,18108
33	0,00035	0,22133	0,00038	0,22028	0,00042	0,21730
34	0,00038	0,24346	0,00038	0,22028	0,00038	0,19919
35	0,00031	0,19920	0,00035	0,20025	0,00035	0,18108
36	0,00049	0,30986	0,00052	0,30038	0,00052	0,27162
37	0,00037	0,23461	0,00044	0,25472	0,00044	0,23033
38	0,00047	0,29747	0,00058	0,33642	0,00070	0,36506
39	0,00045	0,28684	0,00045	0,25953		
40	0,00052	0,33199	0,00066	0,38048	0,00069	0,36216
39					0,00058	0,30421
41	0,00047	0,29747	0,00047	0,26914	0,00047	0,24337
42	0,00057	0,36519	0,00057	0,33042	0,00057	0,29878
44					0,00042	0,21730
43	0,00045	0,28773	0,00052	0,30038	0,00063	0,32594
44	0,00042	0,26559	0,00042	0,24030		
45	0,00058	0,37183	0,00066	0,37848		
46	0,00046	0,29215	0,00053	0,30839	0,00057	0,29878
45					0,00090	0,47081
47	0,00102	0,65071	0,00117	0,67285	0,00128	0,66547
NUEVA CARGA TOTAL / modelo:			4,83	4,83	4,83	

Figura 10.26. Cargas unitarias por el método de redistribución de capacidades.

Determinación del tiempo de proceso para cada modelo		Tiempo operativo diario (seg):	28.800		
		Carga total diaria en la línea (uds.):	600		
CALCULO DE TIEMPOS Y DE PRODUCCIONES POR MODELOS					
Modelo	Carga unitaria (teórica)	% Carga Total	TIEMPO producción diario (minutos)	CAPACIDAD de producción diaria	PRODUCCIÓN diaria real
Elimag 100	2,2744	47,06%	226	637,43	300
Elimag 100 U	2,0948	43,35%	208	576,73	250
Elimag 100 UM	0,4633	9,59%	46	521,51	50
Totales »	4,8325	100%	480	(28800 seg.)	

Figura 10.27. Determinación de los tiempos de operación de cada producto.

A partir de ahí, el programa calcula la carga unitaria total del puesto creado que, de momento, es la de la única tarea que le hemos asignado. Así pues y, a menos que esta carga sea superior a 1, que, como sabemos, es el valor máximo admisible, seguiremos asignando tareas a este puesto creado hasta agotarlo, es decir, cuando la carga real sea uno o muy cerca de este valor.

Naturalmente podemos crear puestos que operan en paralelo con las

mismas tareas o una implantación en *nagare*, que es la versión *lean* de lo anterior, sin más que disponer más de un trabajador para el puesto en cuestión en la columna correspondiente.

Agotado el puesto 1, se puede abordar el puesto 2, con el que opera exactamente igual. Y así sucesivamente con los siguientes, hasta agotar todas las tareas asignadas, lo que se tiene que cubrir con el total de puestos que se habían determinado (en el caso de la figura serán 4,83, redondeado a 5). Si las agrupaciones ocupan un número mayor de puestos, habrá que buscar una agrupación mejor que apure, acercándolas más a uno, las cargas unitarias totales de los puestos. Recuérdese que se dispone de la opción de crear puestos en paralelo que efectúen las mismas tareas.

Por otra parte, es importante que las asignaciones realizadas a cada producto sean lo más parecidas posible, ya que si no es así, los trabajadores tendrán que cambiar demasiado las tareas que realizan, cada vez que cambien de producto, lo que, en la producción mezclada, sería peor aún. Para facilitarlo, en la parte inferior de la pantalla se aprecian las tareas que habrá de realizar cada puesto para cada producto, a fin de que el usuario aprecie con facilidad los cambios de tareas de cada puesto de trabajo, al cambiar de producto.

Modelo: Elimag 100						Modelo: Elimag 100 U						Modelo: Elimag 100 UM					
Ops.	Carga unitaria	Puesto agrupado	personas puesto	Carga real persona	Carga máquina Ops. Año	Carga unitaria	Puesto agrupado	personas puesto	Carga real persona	Carga máquina Ops. Año	Carga unitaria	Puesto agrupado	personas puesto	Carga real persona	Carga máquina Ops. Año		
32	0.17706	1	2	0.98		0.16020	1	2	0.98		0.18108	1	2	1.00			
33	0.22133	1				0.22028	1				0.21730	1					
34	0.24346	1				0.20025	1				0.19919	1					
35	0.19920	1				0.30038	1				0.18108	1					
36	0.30986	1				0.25472	1				0.27162	1					
37	0.23461	1				0.33642	1				0.23033	1					
38	0.29747	1				0.25953	1				0.36506	1					
39	0.28684	1				0.38048	2	1	0.98		0.36216	1					
40	0.33199	2	1	0.98		0.26914	2				0.30421	2	1	0.85			
41	0.29747	2				0.33042	2				0.24337	2					
42	0.36519	2				0.30038	3	2	0.95		0.29878	2					
44						0.24030	3				0.21730	3	2	0.99			
43	0.28773	3	2	0.93		0.37848	3				0.32594	3					
44	0.26559	3				0.30839	3				0.29878	3					
45	0.37183	3				0.67285	3				0.47081	3					
46	0.29215	3									0.66547	3					
45											4,83	Puestos:	5	0,17			
47	0.65071	3															
Total:	4,83	Puestos:	5		0,17												
<i>Infrautilización por modelos:</i>																	
Modelos																	
Operaciones asignadas por puestos:																	
PUESTOS »»		1			2			3									
Modelos		32-33-34-35-36-37-38-39-			40-41-42-			43-44-45-46-47-									
Elmag 100		32-33-34-35-36-37-38-39-			40-41-42-			43-44-45-46-47-									
Elmag 100 U		32-33-34-35-36-37-38-39-			40-41-42-			43-44-45-46-47-									
Elmag 100 UM		32-33-34-35-36-37-38-40-			39-41-42-			44-43-46-45-47-									

Figura 10.28. Tablas para la asignación de tareas por puestos y productos.

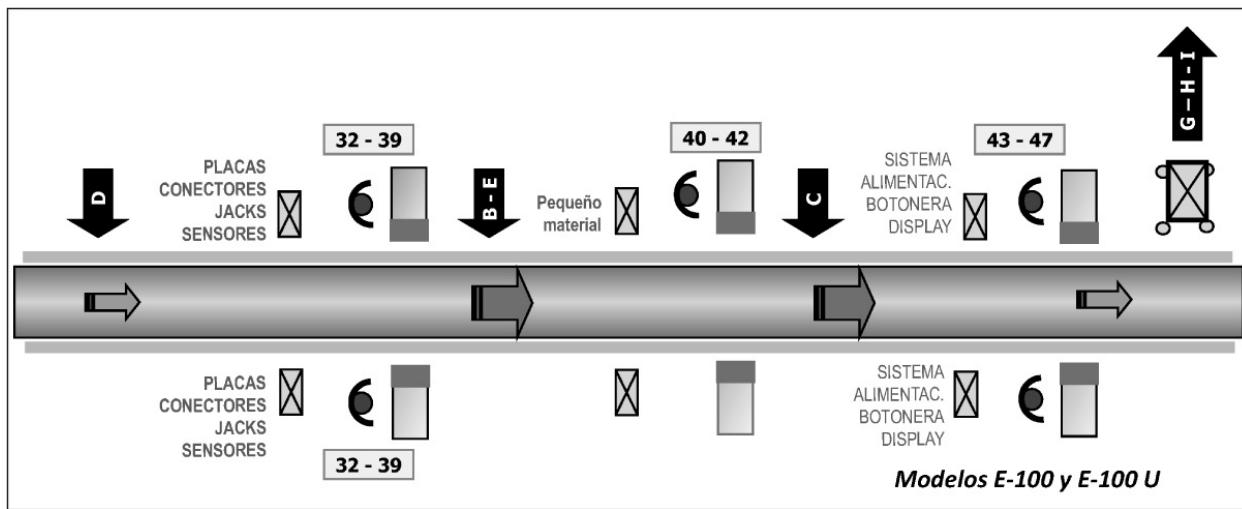


Figura 10.29. Diseño e implantación de la línea multiproducto para el montaje de reproductores DVD, sobre cadena convencional.

Por su parte, los tiempos de máquina de cada operación son mostradas automáticamente por el programa. En el supuesto utilizado, no existen.

En el del reproductor DVD, cuyos datos son los que aparecen en la figura 10.28, se han podido agrupar las tareas en tres puestos, dos de ellos con dos trabajadores cada uno. Además, se han distribuido todas las tareas en cinco puestos, como estaba previsto, y con muy poco desperdicio de capacidad en cada uno.

Además, los diseños de la línea para los tres productos se asemejan mucho, tal como hemos exigido, lo que se observa en el recuento de tareas por puesto (parte inferior de la pantalla): tan solo cambia la operación 39 por la 40, entre el puesto uno y el dos. La figura 10.29 (en la página anterior) representa el diseño completo de la cadena de montaje en versión tradicional recta.

La tabla de la pestaña *Puestos-Cd* ha permitido este enfoque, ya que cada puesto tiene asignadas un conjunto de tareas correlativas. En el diseño de la figura 10.29 se han incluido también los materiales que hay en los contenedores y los subconjuntos que lleguen a los mismos.

La figura 10.30 (en la página 360) en la pestaña *Puestos-Ce* de la aplicación informática ofrece otra versión para el diseño de esta línea multiproducto, otra distribución de las tareas. En dicha figura, el puesto 2 está intercalado entre las tareas del puesto 1, para los tres productos y, en consecuencia, se ha conseguido una implantación en la que ningún trabajador tiene que cambiar ninguna tarea al cambiar de producto.

La figura 10.31 (en la página 361) muestra, finalmente, el diseño correspondiente con la implantación celular, sobre una línea en flujo de tipo serpentín.

Con ello, hemos completado el diseño de un proceso de producción que ha permitido implantar el caso más complejo (producir varios productos simultáneamente y en la misma línea) de la manera más eficiente posible, ya que cumple todas las condiciones que pueden exigirse con un enfoque avanzado *lean*:

- Implantación en *flujo celular*, con la consiguiente eliminación de desperdicios.
- Operativa con un *equipo de trabajo fijo*, sin necesidad de introducir o remover trabajadores al cambiar de producto, lo que implica una sencillez similar a la de la operativa monoproducto en muchos aspectos.
- El *número de puestos* de trabajo utilizados es el *estRICTAMENTE necesario* para la carga de trabajo total existente, pese a las diferencias entre productos.
- *Equilibrado total y permanente* de la línea, pese a los distintos requerimientos de los diferentes productos, que, además, evita desperdicios en forma de esperas y stock en curso.

Modelo: Elimag 100					
Ops.	Carga unitaria	Puesto agrupado	personas puesto	Carga real persona	Carga máquina Ops. Agrup
32	0,17705	1	2	0,99	
33	0,22133	1			
34	0,24346	2	1	0,99	
35	0,19920	2			
36	0,30986	2			
37	0,23461	2			
38	0,29747	1			
39	0,28684	1			
40	0,33199	1			
39					
41	0,29747	1			
42	0,36519	1			
44					
43	0,28773	3	2	0,93	
44	0,26559	3			
45	0,37183	3			
46	0,29215	3			
45					
47	0,65071	3			
Total:	4,83	Puestos:	5		
<i>Infrautilización por modelos:</i> 0,17					

Modelo: Elimag 100 U					
Carga unitaria	Puesto agrupado	personas puesto	Carga real persona	Carga máquina Ops. Agrup	
0,16020	1	2	0,98		
0,22028	1				
0,22028	2	1	0,98		
0,20025	2				
0,30038	2				
0,25472	2				
0,33842	1				
0,25953	1				
0,38048	1				
0,26914	1				
0,33042	1				
0,30038	3	2	0,95		
0,24030	3				
0,37848	3				
0,30839	3				
0,67285	3				
4,83	Puestos:	5			
<i>Infrautilización por modelos:</i> 0,17					

Modelo: Elimag 100 UM					
Carga unitaria	Puesto agrupado	personas puesto	Carga real persona	Carga máquina Ops. Agrup	
0,18108	1	2	0,99		
0,21730	1				
0,19919	2	1	0,88		
0,18108	2				
0,27162	2				
0,23033	2				
0,36506	1				
0,36216	1				
0,30421	1				
0,24337	1				
0,29878	1				
0,21730	3	2	0,99		
0,32594	3				
0,29878	3				
0,47081	3				
0,66547	3				
4,83	Puestos:	5			
<i>Infrautilización por modelos:</i> 0,17					

Operaciones asignadas por puestos:

1º «U» del serpentín			2º «U» del serpentín		
Modelos	PUESTOS »»	1	2	3	4
Elimag 100		32-33-38-39-40-41-42-	34-35-36-37-	43-44-45-46-47-	
Elimag 100 U		32-33-38-39-40-41-42-	34-35-36-37-	43-44-45-46-47-	
Elimag 100 UM		32-33-38-40-39-41-42-	34-35-36-37-	44-43-46-45-47-	

Figura 10.30. Distribución de las tareas entre los puestos de trabajo, adaptada a una implantación celular.

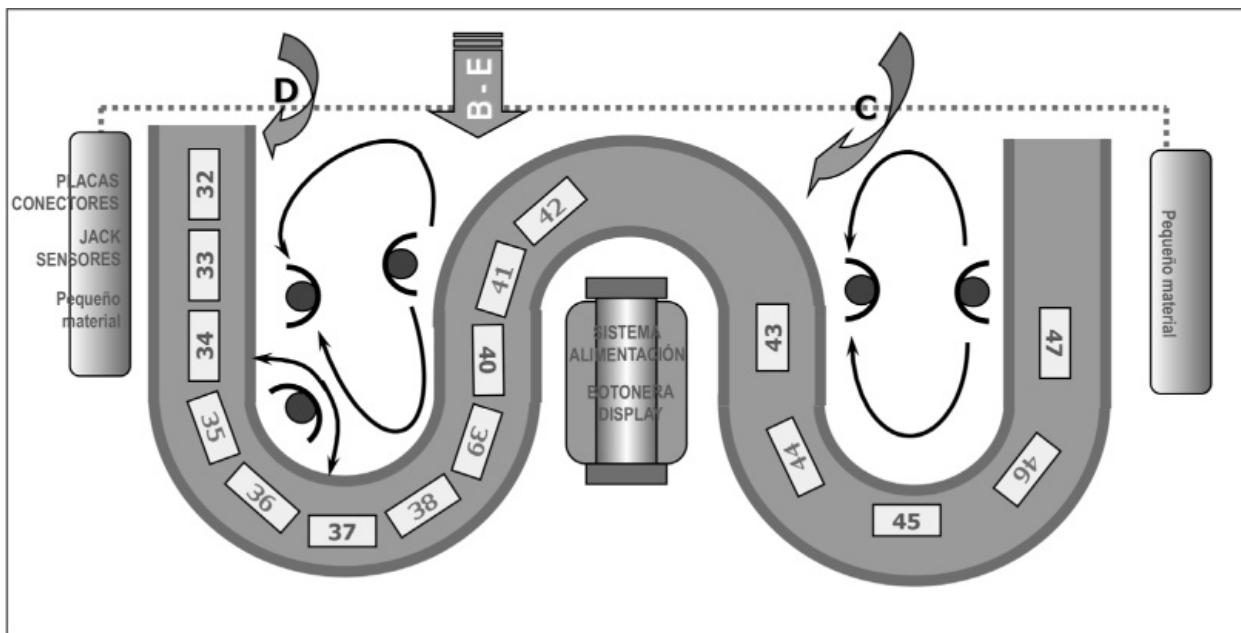


Figura 10.31. Diseño de la línea multiproducto del caso DVD, con implantación celular.

- Los *puestos de trabajo* operan debidamente *saturados* (sin paros), lo que también comporta eliminación de desperdicios.
- Se *producen exactamente las cantidades previstas* de cada producto y *en el tiempo exactamente previsto* para ellos.
- Los trabajadores *no requerirán una formación especialmente compleja* por el hecho de operar en una línea multiproducto, ya que *apenas cambiarán de tarea* al cambiar de producto.
- Implementación de la *flexibilidad total*: la implantación de la operativa multiproducto mediante el método de la redistribución de capacidades permite implementar la flexibilidad al tipo de producto, y la implantación en flujo sobre células flexibles permitirá la flexibilidad al volumen de producción.

Así pues, el lector tiene finalmente a su disposición las técnicas más avanzadas para diseñar procesos y plantas de producción, al implantar eficazmente los casos más completos y complejos, pero de manera que pueda lograr una implantación eficiente y competitiva hasta donde es posible hacerlo

en la actualidad.

10.8. Caso práctico de evolución desde una operativa tradicional al *lean manufacturing*. Etapa de implantación de línea multiproducto

Vamos a concluir la evolución al *lean manufacturing* del ejemplo de la fabricación de sillas, iniciado y continuado en los capítulos anteriores, allí donde se exponían los principios, técnicas y metodologías que emplear. Diseñaremos ahora la línea multiproducto para la producción de los modelos cromada y pintada, de acuerdo con lo expuesto en este capítulo.

Como datos de partida utilizaremos:

- Tiempo disponible durante la jornada: $TD = 10$ horas
- Volumen a producir del modelo pintada: $q_P = 150$ unidades/día
- Volumen a producir del modelo cromada: $q_C = 120$ unidades/día

De acuerdo con ello, los *takt time* de ambos modelos son:

- Modelo pintada: $Tkt_P = 10 \times 60 / 150 = 4$ minutos
- Modelo cromada: $Tkt_C = 10 \times 60 / 120 = 5$ minutos

En el capítulo quinto se completó la implantación en flujo equilibrada, con ocho puestos de trabajo y un tiempo de ciclo del proceso —el del cuello de botella— igual a 4,5 minutos/unidad, que dio lugar a una capacidad de producción de 13 unidades/hora que, para una jornada de diez horas, supondrían 130 unidades/día. Ésta es la situación que mantenemos ahora, tras haber incorporado posteriormente el flujo *pull* y la flexibilidad.

Ahora se plantea la producción de $150 + 120 = 270$ unidades, algo más del doble de las 130 que estamos capacitados para producir con ocho puestos, lo que supone que habremos de precisar algo más del doble de este número, es decir, algo más de 16. Veamos cuál es la cantidad real de puestos que vamos a precisar. El cuadro de la figura 10.32 nos la evaluará.

En efecto, el sistema completo consta de dos procesos, la fabricación de la estructura soldada y pintada (o cromada, operación esta que no se hace en la planta) y, luego, el ensamblaje de la silla. En el capítulo séptimo se crearon dos tablas (una para cada modelo de silla) para la evaluación del *takt time* según el número de puestos. De acuerdo con estas tablas, el modelo cromado, con el *takt time* de cinco minutos obtenido más arriba, precisaría tres operadores para la fabricación y cuatro para el ensamblaje, operando en una sola célula. En el modelo pintado, con su *takt time* de cuatro minutos, la tabla correspondiente nos daba cinco operadores en la fabricación y otros cinco en el ensamblaje. Este conjunto de datos son los que contiene el cuadro de la figura 10.32.

Además, en estas mismas tablas figuraban los tiempos de proceso de ambos modelos, que los necesitaremos también: modelo cromado: $13 + 20 = 33$ minutos; modelo pintado: $17 + 20 = 37$ minutos.

De acuerdo con los datos de la figura 10.32, para la producción de ambos modelos, al ritmo de los citados *takt time*, todo ello en 10 horas, se requerirán $3 + 4 = 7$ operadores para el modelo cromado y $5 + 5 = 10$, para el pintado. En total, 17 trabajadores (recuérdese que hemos dicho que habrían de ser algo más de 16 y así es, en efecto); estos 17 trabajadores formarán el equipo fijo que operará primero con un modelo y después con el otro, todo ello de acuerdo con los principios con los que se ha realizado el diseño de líneas multiproducto.

PROCESO	Modelo CROMADA			Modelo PINTADA		
	Takt time	Nº Células	Nº puestos /célula	Takt time	Nº Células	Nº puestos /célula
Estructura	5	1	3	4	1	5
Ensamblado	5	1	4	4	1	5
TOTALES		2	7		2	10
Nº de trabajadores total:	17		>> Será el utilizado como equipo único para los dos modelos			

Figura 10.32. Determinación del número de trabajadores de la línea multiproducto.

Si queremos determinar cuánto tiempo deberá operar este equipo con cada modelo de producto, no tenemos más que utilizar la expresión de cálculo dada en el epígrafe 10.6 de este mismo capítulo:

Tiempo de operación por modelo: $TO = Q \times TP/n$

Es decir:

- Modelo cromado: $TO_C = 120 \times 33/17 = 233$ minutos
- Modelo pintado: $TO_P = 150 \times 37/17 = 326$ minutos

En total suman 559 minutos, es decir, 9,3 horas, las diez que disponíamos para operar, con un pequeño sobrante debido a los ajustes al tomar el número de puestos en función del *takt time*. La figura 10.33 (en la página siguiente) presenta el diseño final de la planta para la producción de los dos productos en una línea multiproducto (que, finalmente, aprovecha las dos células disponibles), con los diecisiete operadores obtenidos.

Con ello, queda completa la transformación *lean* para las sillas de cuero. No se ha llegado al detalle de distribuir las tareas por puestos tras aplicar el método de la redistribución de capacidades, puesto que ya ha sido aplicado a un caso numérico en este mismo capítulo.

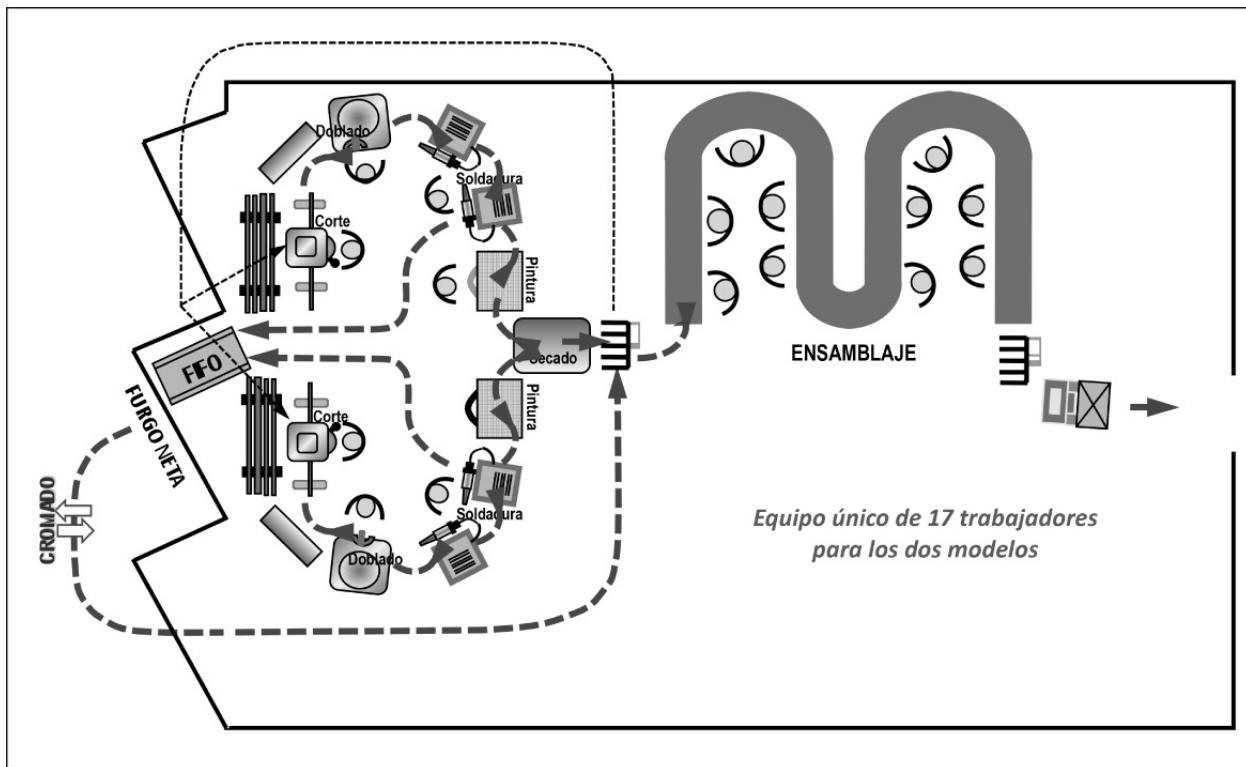


Figura 10.33. Diseño completo de la línea multiproducto con sus operadores, para el caso de las sillas de cuero.

1. El lector puede consultar cómo se realiza el nivelado en la bibliografía relacionada con el lean manufacturing. En esta obra no se incluye, ya que la planificación se ocupa de qué se ha de producir con los procesos, mientras que la ingeniería de procesos y de plantas trata de cómo son y funcionan tales procesos.

11

ESTUDIO Y MEJORA DE LOS MÉTODOS DE TRABAJO. DETERMINACIÓN DE TIEMPOS DE OPERACIONES

La ingeniería de procesos y de plantas abarca todo cuanto concierne al diseño de los procesos y su desarrollo, así como a la implantación física en una planta hasta que sean totalmente operativos, por lo que esta obra no estaría suficientemente completa sin analizar los métodos de trabajo empleados y afrontar su mejora, así como medir el contenido de trabajo de las operaciones por medio de la determinación de sus tiempos.

Al fin y al cabo, el tiempo es la medida de todo cuanto afecta a la operativa de los procesos, así como a su eficiencia y mejora, por ello el tiempo que requieren los procesos y sus operaciones es, precisamente, lo que hemos venido utilizando a lo largo de este libro. Ahora hemos de aprender a medirlo y emplearlo para mejorar los métodos de trabajo.

Para abordar la implantación o mejora de un proceso de producción mediante las técnicas del estudio y mejora de métodos existen, ante todo, unas pautas generales a seguir:

- *Registrar* las actividades del proceso a implantar o mejorar.
- *Analizar* el conjunto de actividades de dicho proceso.

- Obtener, a partir del precedente análisis, la *implantación mejorada*.

Nos ocuparemos sobre todo de las *actividades* que componen un proceso y su representación, para abordar a continuación la recogida y registro de la información del proceso y de sus actividades.

11.1. Tipos de actividades y su representación

Actualmente se admite que existen cinco grandes tipos de actividades, clasificación hoy homologada por la Oficina Internacional del Trabajo (OIT), que difieren en su naturaleza y su aportación de valor al proceso. Éstos fueron desarrollados por la *American Society of Mechanical Engineering (ASME)* y son: *operación, inspección, espera, almacenaje y transporte*. La columna izquierda del cuadro de la figura 11.1 muestra los cinco tipos, además de la posibilidad de una combinación entre ellos. El mismo cuadro añade, para cada una de las actividades, el símbolo que la suele representar, así como su descripción y su capacidad para aportar valor y la justificación de tal calificación.

Vamos a ocuparnos de describir y representar mediante símbolos los tipos de actividades que indica el citado cuadro de la figura 11.1, aunque en algunas circunstancias pueda ocurrir que cierta actividad no se identifique —sin que quepa la menor duda— con alguna de ellas:

- *Operación*: estamos ante una operación cuando: a) se modifican, de una forma intencionada, las características físicas o químicas de un objeto, o cuando se monta o desmonta de otro, o se dispone para la actividad siguiente. Del mismo modo tiene lugar una operación cuando: b) se preparan los materiales o los medios de producción, se da o recibe información o se hacen cálculos o planes.

Por lo que hace referencia a la aportación de valor, la operación es la única de los cinco tipos que puede hacerlo, y ello ocurre en el supuesto a) y no se aporta valor en el supuesto b). Es muy frecuente acompañar la operación de un símbolo (columna siguiente de la figura 11.1) en forma de círculo, oscuro cuando aporta valor y blanco si no lo hace.

- *Inspección*: tiene lugar una inspección cuando se examina un objeto para su identificación o para comprobar la cantidad o calidad de alguna de sus propiedades. Se representa habitualmente mediante un símbolo en forma de cuadrado.
- *Transporte*: existe transporte cuando un objeto se traslada de un lugar a otro, a excepción de los casos en que el movimiento forme parte de la operación, o se origine por parte de los trabajadores en el mismo puesto de trabajo a causa de una operación o inspección. Se habla de transporte cuando se recorre una distancia apreciable, como es el caso de los desplazamientos para colocar los materiales en los vehículos de transporte, en depósitos, etc. Se representa mediante una flecha.

Actividad	Símbolo	Descripción	Valor añadido	Justificación
OPERACIÓN	○	Preparación de medios producción, ajuste, manipulación, etc.	No aporta	No aporta valor en tanto que no afecta al producto de forma que avance hacia su estado final
	●	Transformación del producto o ensamblaje componentes	Aporta valor	Aporta valor porque el producto recibe cambios que le agregan valor
INSPECCIÓN	□	Actuación para evaluar el producto o medios de producción	No aporta	Una inspección no aporta valor al producto, que se mantiene igual que antes de la inspección
ESPERA	D	Producto o puestos de trabajo de un proceso, detenidos	No aporta	Es una actividad (¿inactividad?) manifiestamente exenta de cualquier tipo de valor
ALMACENAJE	▽	Materiales o productos parados a disposición del proceso	No aporta	El almacenaje no aporta valor. Si se aporta (caso vino en bodegas), no es almacenaje sino operación
TRANSPORTE	→	Desplazamiento de materiales o producto, en un proceso	No aporta	Mover materiales o productos no les aporta ningún valor, aunque sea indispensable hacerlo
ACTVIDAD COMBINADA	○ →	Actividades realizadas simultáneamente o en el mismo puesto [Caso: operación e inspección]	Depende de actividades	Basta que una de ellas aporte valor para que lo haga la combinada

Figura 11.1. Actividades de los procesos y tipos y características de las mismas.

- *Espera o demora:* se da cuando las condiciones, salvo las inherentes al proceso, no permiten la ejecución de la siguiente actividad prevista. Podemos también considerar como espera el almacenaje circunstancial entre puestos o en puestos de trabajo. Se representa

- mediante un símbolo en forma de D (*delay* en inglés).
- *Almacenaje*: tiene lugar cuando los materiales o productos que concurren en un proceso están estacionados en algún lugar y constituyen un stock de cualquier clase: almacenes de materiales, a pie de máquina, en espera de un control de calidad, almacenes de producto acabado, etc. Su símbolo es un triángulo, aunque el stock controlado propio de los supermercados, cuando se opera en *lean manufacturing*, tiene otro tipo de representación.
 - *Actividad combinada*: ocurre cuando dos o más actividades se realizan simultáneamente o por el mismo operador en el mismo puesto de trabajo; su símbolo es la combinación de los de las distintas actividades.

11.2. Registro analítico de las actividades de un proceso

Este tipo de registro consiste en anotar las actividades de un proceso y su descripción, tal y como se desenvuelven en el momento actual. Un registro minucioso y exacto de las actividades que componen un proceso es fundamental para llevar a cabo, y con éxito, la implantación.

El registro puede ser analítico o gráfico. Con el enfoque analítico se puede desplegar toda la información acerca del proceso y sus actividades, pero con el enfoque gráfico se aprecia visualmente cada actividad, su aportación de valor y el encadenamiento de todas ellas en el proceso, caso de utilizar los conocidos símbolos de las actividades mostrándolas encadenadas de acuerdo con la secuencia de dicho proceso.

La figura 11.2 plantea una hoja para efectuar el registro analítico acompañado de los símbolos de las actividades de un proceso. Incluye también la fase de análisis del método actual y la propuesta de método mejorado. Consiste en una descomposición minuciosa de las actividades que componen el proceso, reflejadas en el mismo orden en que se suceden en la secuencia del mismo y de la que destacan detalles que puedan pasar inadvertidos que faciliten así la detección de las anomalías que puedan presentarse.

La hoja, además, ha de contener datos relativos a la identificación del

proceso: codificación, denominación, persona responsable de su elaboración, así como la fecha, autorización y aprobación.

En el caso de la figura 11.2 se ha aprovechado para analizar las actividades de un proceso que se mostró en el capítulo dedicado a la ingeniería de procesos en el entorno *lean manufacturing*, a raíz de los cambios exigidos por la evolución desde una operativa por lotes a otra en flujo, con las operaciones muy cerca, lo propio del enfoque *lean*. En este caso se ha introducido un cambio, la automatización de la descarga de la pieza en el taladrado, para lo que la pieza se fija mediante un sistema de mordaza movida por un cilindro neumático. Esto ha propiciado también una reducción en el tiempo de fijar la pieza en el taladro.

REGISTRO ANALÍTICO DE PROCESO								
Taladrado y chaflanado de pieza de acero								
OBJETO: Operador: <input checked="" type="checkbox"/> Máquina: <input type="checkbox"/>				Frecuencia: 1 unidad /producto Unidades: 1 pieza				
Activ.		Análisis		Detalles		Conclusiones		
Código	Simb	Descripción	Tiempo	¿Por qué? ¿Cuándo? ¿Quién? ¿Dónde? ¿Cómo?		Simb	Método propuesto	Tiempo
1	○	Fijar 1 pieza en el taladro	(seg) 20	Tomar 1 pieza del contenedor, con mano izquierda y fijarla con mordazas en el plato del taladro, con la mano derecha		○	Fijar pieza en taladro. Mordaza con cilindro neumático	(seg) 5
2	●	Taladrado de la pieza	20	Fijada la pieza, arrancar la máquina equipada con una broca correcta.		●	Taladrado pieza. Descarga automática	25
3	○	Extraer pieza de máquina	15	Alojar mordazas con mano derecha y extraer la pieza con ambas manos		➡	Dejar pieza en plato de fresadora	10
4	□	Control del diámetro de la pieza	20	Tomar un pie de rey con la mano derecha y sosteniendo la pieza con la mano izquierda, medir el diámetro de taladro.		○	Fijar pieza en Fresadora con mordazas	20
5	□	A contenedor (y esperar)	1000	Depositar la pieza en un contenedor con la misma mano izquierda (contenedor a la izquierda y cerca del operador)		●	Chaflanado de la pieza	150
6	➡	Transporte a la fresadora	190	Cargar el contenedor en trapaleta y transportarlo hasta depositarlo a lado de una fresadora				

Resumen	Cantidad	Método actual	Cantidad	Método propuesto
		Observaciones		Observaciones
Operaciones VA:	1	Valor añadido total	1	
Operaciones NVA:	2	Podría automatizarse	2	Automatizada descarga
Inspecciones:	1	Substituir por poka-yoke	0	
Esperas:	1	De operativa lotes a flujo	0	
Almacenaje:	0		0	
Transporte:	1	Eliminado con op. lotes	1	Mínimo: máquinas cerca

Figura 11.2. Modelo de registro analítico de proceso.

Además, se ha aprovechado para incluir aspectos referidos a la posición

relativa de los elementos de trabajo y el uso de las manos del operador, algo muy importante en la mejora de métodos.

En la parte inferior del documento hay un resumen que permite contabilizar las actividades por tipos y, con ello, por el valor aportado. En efecto, se puede comprobar que se ha pasado de una situación con una actividad con valor añadido y cinco que no lo aportan a otra situación en la que, junto con la actividad con valor añadido, solo hay otras dos sin él que, además, tienen un tiempo mucho menor, como se puede comprobar en la hoja de registro de la figura (la fijación que ahora es neumática y el transporte a la fresadora que ahora es mínimo). Las otras dos actividades del método propuesto (una de ellas con valor aportado) son nuevas, no contempladas en el proceso actual.

Al hacer un análisis es importante plasmarlo todo por escrito y no confiar detalles a la memoria, por muy poco importantes que puedan parecer. El análisis debe realizarse en el propio lugar de trabajo, pero advirtiendo de nuestros propósitos al trabajador que realiza la tarea con el fin de obtener su colaboración.

Es preciso prestar una gran atención a la recogida de información en la etapa del análisis, pues hay que tener en cuenta que el éxito de las mejoras depende en gran parte de cómo se haya realizado este análisis.

11.3. ¿Qué es y cómo se enfoca la mejora de métodos?

Se entiende por mejora de métodos la aplicación de los conocimientos correspondientes a esta disciplina a los procesos con los que se trabaja, sin olvidarse del sentido común. El más indicado para colaborar eficazmente en la mejora es quien realiza el trabajo.

Puede decirse que el *objetivo* de una mejora de métodos es evitar todo tipo de desperdicio economizando materiales, tiempo, espacio y energía en sus distintos aspectos.

Para realizar el proceso de mejora se precisa *información* y *formación*, para poder aplicar técnicas de mejora de métodos y lograr que la operativa llegue a suponer un *trabajo mejor y bien retribuido*, obtenido en un *tiempo menor*, sin

prisas, operando con *seguridad* y a un *coste inferior*.

Como puntos clave para lograrlo, destacaremos:

- Conservar el espíritu abierto.
- Adoptar una actitud interrogativa.
- Utilizar hechos, no opiniones.
- Buscar razones, no excusas.
- Actuar sobre las causas, no sobre los efectos.
- Razonar técnicamente, pero pensar socialmente.
- Saber persuadir y no imponer.
- No desistir nunca, puesto que siempre hay un método mejor.

11.4. Etapas de la mejora de métodos

Éstas son las cinco etapas a cubrir para plantear, desarrollar y aplicar un programa de mejora de métodos de trabajo:

1. Seleccionar el proceso a estudiar para su mejora.
2. Observarlo y recoger datos para analizarlo.
3. Enjuiciar o criticar cada detalle del modo operatorio actual.
4. Elaborar el nuevo método.
5. Llevarlo a la práctica.

11.4.1. 1^a etapa: seleccionar el proceso a estudiar para su mejora

La elección del proceso o parte del mismo se llevará a cabo entre los que se considera que merecen una mejora, tengan un papel relevante en el resultado de la actividad de una planta, causen cuellos de botella o exijan demasiado tiempo de proceso.

Si hay que elegir entre varios, ha de primar la prioridad que tenga cada uno, de acuerdo con su trascendencia, gravedad o antigüedad, pero abordando el que suponga ir de lo simple a lo complejo.

11.4.2. 2^a etapa: observar, registrar datos y analizar el proceso

Elegido y delimitado el proceso o parte del mismo, hay que observarlo en el mismo lugar en que se ejecuta, hasta en sus más pequeños detalles y con absoluta exactitud. Esta observación no debe ser global, sino que el responsable de la misma ha de analizar el proceso, descomponerlo en sus elementos constitutivos, con frecuencia las actividades y las tareas que las constituyen.

Así, si se trata de analizar una operación, se tendrán en cuenta los posibles desperdicios, la calidad, la seguridad, el confort, la fatiga, la correcta utilización de las máquinas, materias primas y utilajes, las condiciones de aprovisionamiento y el número de piezas trabajadas al mismo tiempo, entre otros aspectos.

Si se trata de analizar un proceso de manutención industrial, convendrá tener muy en cuenta la frecuencia de utilización, cantidad y peso por viaje, distancias con carga y sin ella, además de obstáculos, estado del suelo, seguridad, fatiga, medios de transporte, uso de la gravedad, etc.

Si se trata de un control de calidad, hay que interesarse especialmente por su frecuencia y por el porcentaje de piezas controladas y rechazadas.

Si se trata de un almacenamiento, es necesario observar especialmente la conservación de los materiales, su acondicionamiento, el espacio que ocupan, la identificación de las piezas almacenadas y el tiempo de almacenaje.

11.4.3. 3^a etapa: criticar cada uno de los detalles del análisis

Para ello se ha de adoptar una actitud interrogativa, preguntándose *qué* se hace, *dónde* se hace, *cuándo* se hace, *quién* lo hace y *cómo* se hace, sin dejar de preguntar *por qué* tras la respuesta a cada una de las anteriores cuestiones. Este *por qué* ha de abarcar, ante todo, la propia necesidad de la actividad o tarea analizada y cada uno de los elementos que la compongan.

Como ejemplos de las cosas que pueden plantearse con cada una de las preguntas planteadas podemos proponer:

- *Qué*: analizar si se comete algún error al realizar el trabajo o se ha cometido anteriormente. Cómo afectará la mejora planteada al producto y su coste. Estudiar si se trata de un problema de calidad

claro o encubierto o consecuencia de uno precedente. Tener en cuenta las necesidades que cubrir ahora y en el futuro, pero no en el pasado.

- *Dónde*: enjuiciar si el lugar actual es el más idóneo, tener en cuenta los medios de acceso y de transporte, así como la ubicación de los procesos con los que se opera (por ejemplo, los de aprovisionamiento). Si hay que desplazar algún elemento, analizar cuál es el más adecuado (operador, máquina, materiales, utillajes, etc.).
- *Cuándo*: reflexionar sobre la oportunidad del momento y vincularla con el lugar (dónde), así como acerca de si puede ser conveniente cambiar el orden de la tarea con otra u otras y, por tanto, alterar el momento. Otra opción es combinar la tarea con otra u otras.
- *Quién*: plantear si la persona que ejecuta la actividad o tarea a examen es la más adecuada y si tiene las habilidades o competencias (aptitud, actitud, experiencia, training,...) convenientes. Analizar especialmente la calificación del operador requerido.
- *Cómo*: plantearse cómo podría ejecutarse mejor un proceso o parte del mismo es realmente el meollo de la mejora del método de trabajo. La cantidad de interrogantes que surgen en este caso es inmenso: máquinas, equipos, útiles, herramientas, posición de cada uno y su relación con la de los materiales, pero, sobre todo, cómo utilizar todo ello: utilizando métodos conocidos y contrastados, automatizando la alimentación o la expulsión, aspectos de seguridad, *layout* adoptado, etc. En el caso de los trabajadores, cómo se ubican en relación con los demás elementos, cómo utilizar las dos manos, si ha de operar de pie o sentado, etc.

Y una cuestión que actualmente está presentando muchos quebraderos de cabeza: qué conviene hacer manualmente y qué automáticamente: la tendencia tradicional es automatizar y robotizar todo cuanto sea posible razonablemente, pero la tendencia de los sistemas avanzados desarrollados por Toyota es la de mucha precaución, no caigamos en la producción en masa y, sobre todo, que no se comprometa la flexibilidad. Mientras escribía este libro he sabido que Toyota se plantea desmontar robots en algunas líneas de montaje para volver al ensamblaje manual...

11.4.4. 4^a etapa: elaborar el método mejorado

Las cuestiones planteadas en la etapa anterior, una vez reflexionadas en todo lo que permitan, han de conducirnos al planteo de un nuevo método de trabajo mejor.

De forma general, pero no exclusiva, cada una de dichas cuestiones puede conducir a algún tipo de actuación determinada, que serían las siguientes:

Preguntar <i>por qué</i> en relación con la	
Cuestión:	Puede conducir a que determinadas tareas se:
Qué	Eliminen
Dónde	Combinen
Cuándo	Combinen o también inviertan su orden con otras
Quién	Inviertan su orden con otras
Cómo	Se simplifique la operativa a la que están sometidas

En todo caso y, ante todo, *siempre que una operación puede ser eliminada (y no digamos si es un proceso), no dediquemos tiempo a mejorarla*. Ello implica responder la pregunta *qué* tras una profunda reflexión.

Queda claro que las acciones a tomar en esta cuarta etapa responden en buena medida a las preguntas de la tercera, lo que implica que entre esta etapa y la anterior existe una estrecha relación. Las preguntas a las que no se ha podido responder satisfactoriamente nos sugieren la clase de mejoras que hay que buscar.

Si la pregunta es *¿qué?*, se podrá eliminar lo que corresponda, según la respuesta; a las preguntas *¿dónde?*, *¿cuándo?* y *¿quién?* corresponde un cambio de sitio, de secuencia —orden de las operaciones— o de operador. Y, de todas formas, se estudiará igualmente la posibilidad de hacer una combinación entre ellas.

Por último, por lo que se refiere a la manera de operar (preguntar ¿cómo?), las investigaciones se orientarán hacia la simplificación o la mejora del modo operatorio propiamente dicho.

11.4.4.1. Reglas de la economía de movimientos

Un aspecto de gran trascendencia para la mejora de métodos que por tanto tiene un papel relevante en la etapa actual son las denominadas *reglas de economía de movimientos*, cuyo objetivo es:

- La simplificación de los gestos.
- La disminución de la fatiga.
- La mejora de la eficacia.

Estas reglas pueden clasificarse en los siguientes grupos:

1. Utilización del cuerpo humano.

- Ambas manos deben comenzar y terminar sus movimientos al mismo tiempo.
- Los movimientos de los brazos deben ser simultáneos y realizarse en direcciones opuestas y simétricas.
- Ambas manos no deben permanecer inactivas al mismo tiempo, salvo en los períodos de descanso.
- Se debe procurar que los movimientos pertenezcan a la clase o nivel más bajo con el que sea posible realizar el trabajo.
- Son preferibles los movimientos continuos y curvos a los rectos que exigen cambios bruscos de dirección.
- Conviene disponer el trabajo de forma que se pueda realizar de forma rítmica y permita una ejecución suave y automática.
- Debe liberarse a las manos de realizar todo trabajo que pueda ser realizado por otra parte del cuerpo, como son por ejemplo los pies mediante la utilización de pedales.

2. Distribución del lugar de trabajo.

- Debe haber un sitio fijo y definido para cada herramienta y

material, al objeto de crear hábitos y evitar búsquedas inútiles.

- Usar en lo posible depósitos de suministros por gravedad, que entreguen los materiales lo más cerca posible de su punto de utilización.
- Las herramientas, útiles, materiales y otros elementos deben estar situadas dentro de las superficies y áreas máximas de trabajo y tan cerca del trabajador como sea posible.
- Las herramientas, útiles, materiales y otros elementos deben colocarse en el orden correcto para la ejecución del trabajo.
- Debe diseñarse el puesto de trabajo de forma que, facilitando al operario una silla de altura y tipo adecuados, pueda trabajar indistintamente de pie o sentado, según convenga al proceso y evitar en lo posible la fatiga.
- El color del lugar de trabajo debe contrastar con el de la tarea a realizar para reducir la fatiga visual.

3. *Diseño de herramientas y equipo.*

- Evitar que las manos realicen la actividad de sostener, para lo que se dispondrá de los adecuados soportes y dispositivos que las dejen libres.
- Siempre que sea posible deben combinarse dos o más herramientas en una sola.
- Siempre que cada dedo realice un movimiento específico, como sería teclear instrucciones a una máquina, debe distribuirse la carga de acuerdo con la capacidad de cada uno.
- Los mangos de las herramientas —sobre todo si hay que realizar un esfuerzo considerable— deben permitir que la mano pueda cogerlos tocando la mayor cantidad de superficie.
- Las palancas, manivelas y volantes de mano deben situarse en posiciones que permitan al operario manipularlos con un mínimo de cambio de posición del cuerpo y con la máxima ventaja mecánica.
- Las herramientas y materiales deben estar en situación que puedan ser agarrados o tomados fácilmente.

Estas reglas de economía de movimientos se pueden resumir en siete

principios de *economía de movimientos*. En todo caso, los objetivos de estos principios se pueden enunciar en este orden lógico:

- Simplificación de los gestos.
- Disminución de la fatiga en los aspectos: fisiológico y psicológico.
- La seguridad del trabajo.
- La mejora de la eficacia del trabajo.

Veamos cuáles son estos principios:

– *Principio nº 1: simetría*

Ello supone interdependencia de los movimientos de manos y brazos, dado que implica que sus movimientos deben ser simétricos y simultáneos, sin brusquedades.

Es necesario que las manos trabajen de la forma más simétrica y simultánea, empezando y terminando al mismo tiempo los gestos, no forzosamente idénticos, pero sí parecidos o similares.

Consecuencia: *libertad de las manos*

Así, las manos deben ser liberadas de toda tarea que pueda ser hecha más fácilmente por un mando de pie.

En los montajes simples para sostener piezas se emplearán, siempre que sea posible, expulsores, cierres rápidos, etc., que reducen la dificultad del operario y el tiempo de fabricación.

– *Principio nº 2: zonas de trabajo*

Economía de los gestos: los movimientos deben ser tan cortos y tan escasos como lo permita la ejecución correcta del trabajo, para evitar en lo posible los cambios agudos y bruscos de dirección del movimiento.

Categoría de los movimientos: todos los movimientos han sido clasificados en las cinco categorías que siguen, así que un movimiento resulta más fatigoso y menos rápido cuanto más elevada es su categoría.

- Movimiento de los dedos.
- Movimiento de dedos y muñeca.

- Movimiento de dedos, muñeca y antebrazo.
- Movimiento de dedos, muñeca, antebrazo y brazo.
- Todos ellos, además del hombro o el cuerpo.

Teniendo en cuenta que:

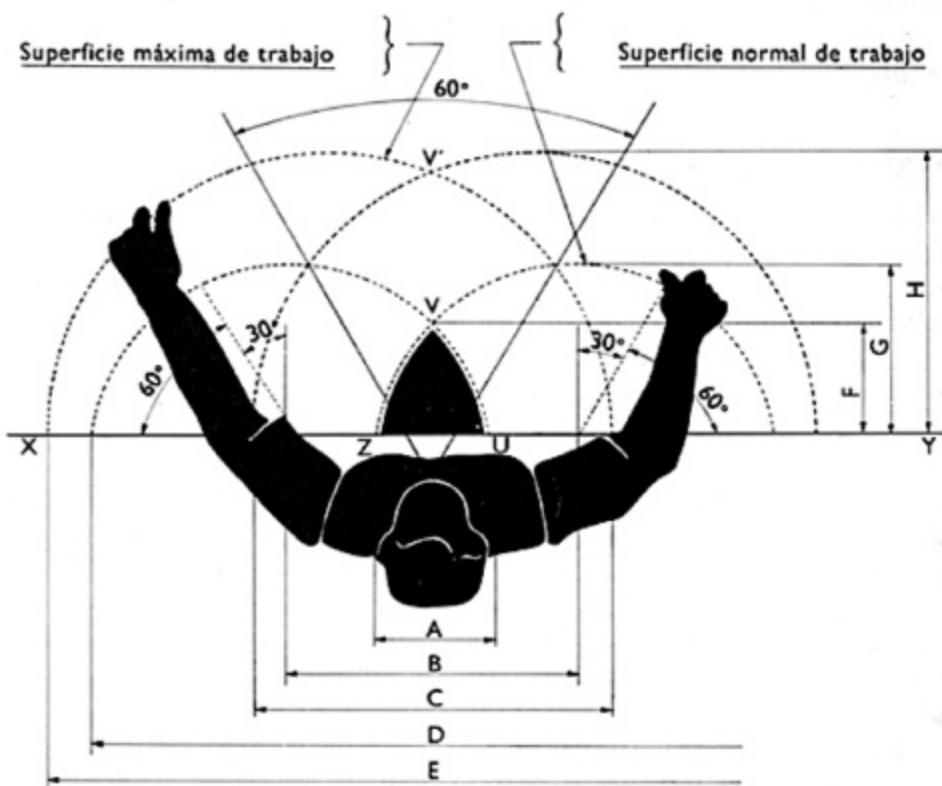
- El límite de los movimientos de 3^a categoría se llama *zona normal*, con el codo como eje y su longitud máxima, 35–40 cm.
- El límite de los movimientos de 4^a categoría se llama *zona máxima*. Su longitud está entre 50 y 55 cm.
- Los de 5^a categoría precisan de un desplazamiento del cuerpo.

– *Principio nº 3: ritmo*

Los útiles y materiales se dispondrán de forma que permitan un ritmo en el trabajo correcto y uniforme. La figura 11.3 indica las superficies máximas y normales de trabajo correctas, en el plano horizontal, con las medidas en todas direcciones y distinguiendo las correspondientes al hombre y a la mujer. En el plano vertical son las de la figura 11.4 (en la página 378).

El ritmo es un factor importante para la eficacia, disminuye el esfuerzo físico y sobre todo mental del operario. Asimismo, reduce la fatiga y los riesgos de accidente.

SUPERFICIES MAXIMA Y NORMAL DE TRABAJO
EN EL PLANO HORIZONTAL



	M U J E R Talla: 1,59 m Peso: 54 kg	H O M B R E Talla: 1,68 m Peso: 68 kg
A	0,200	0,240
B	0,550	0,600
C	0,640	0,720
D	1,100	1,350
E	1,370	1,550
F	0,200	0,240
G	0,300	0,335
H	0,480	0,550

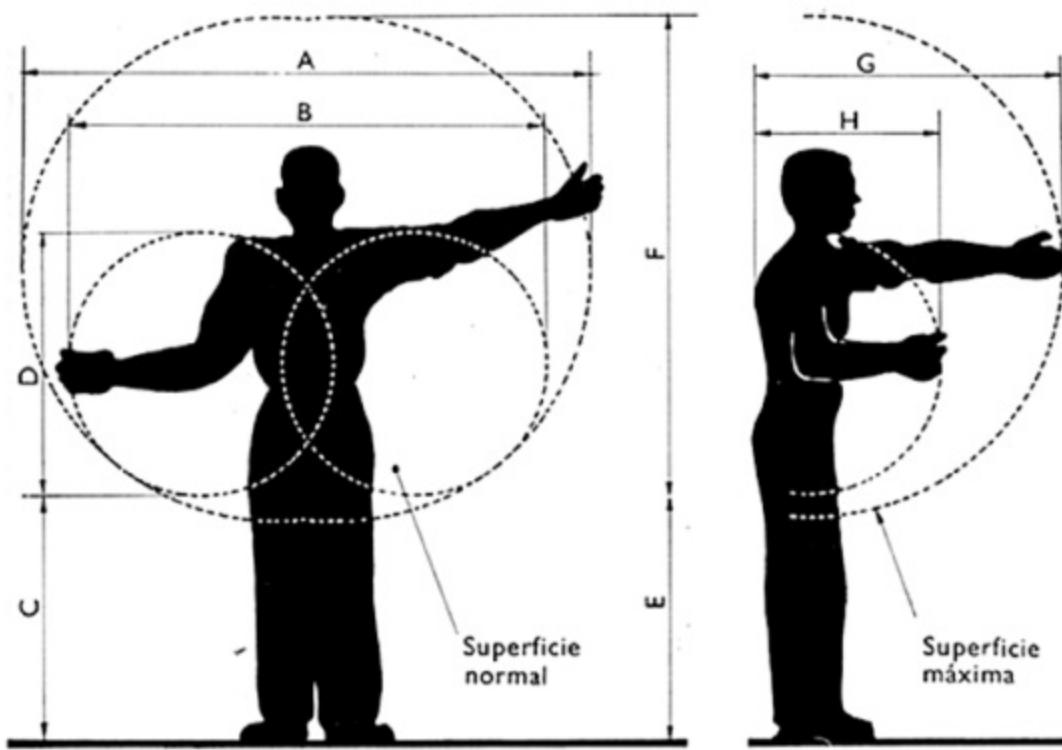
Figura 11.3. Superficies de trabajo aceptadas (horizontal).

- *Principio nº 4: prepositionado*
Se llama *prepositionado* a la disposición de un objeto en un lugar

determinado, en su ubicación de uso. Los útiles y materiales deben estar reposicionadas de forma correcta y bien definida.

Esta posición es conveniente obtenerla de forma fácil y rápida, quedando muy bien determinada la posición de uso y de manera que no ofrezca ningún perjuicio o esfuerzo innecesario para el normal desarrollo de otras operaciones.

SUPERFICIES MAXIMA Y NORMAL DE TRABAJO
EN EL PLANO VERTICAL



	M U J E R Talla: 1,59 m Peso: 54 kg	H O M B R E Talla: 1,68 m Peso: 68 kg
A	1,400	1,550
B	1,100	1,350
C	0,680	0,770
D	0,720	0,800
E	0,630	0,700
F	1,260	1,400
G	0,730	0,800
H	0,430	0,500

Figura 11.4. Superficies de trabajo aceptadas (vertical).

– *Principio nº 5: gravedad*

La forma más simple y rápida de desembarazarse de un objeto es *dejarlo caer*, con la condición de que esta caída sea controlada.

La gravedad es una fuerza natural y gratuita de la que es frecuente no aprovecharse lo suficiente.

La gravedad debe utilizarse cada vez que se pueda, para aprovisionar y evacuar los materiales en el lugar en el que se precisan.

Así, no suele presentar complicaciones la utilización de racks o canales de fondo inclinado para facilitar el aprovisionamiento de las piezas o el uso de pendientes del tipo que sea.

– *Principio nº 6: agrupamiento*

Siempre que sea posible, el proceso de piezas por medio del trabajo humano debe intentarse llevar a cabo procesando dos de ellas simultáneamente, de la misma forma que, dentro de las posibilidades que haya, es recomendable preparar el puesto de trabajo para tomar y evacuar varias piezas a la vez.

– *Principio nº 7: seguridad*

La seguridad es un factor importante en el trabajo. Si la mejora proyectada no disminuye los riesgos de accidente, hay que volver a reconsiderarla, puesto que la seguridad es preciso que vaya siempre en aumento.

11.4.5. 5^a etapa: aplicar el método propuesto

Una mejora no ofrece interés más que si se puede llevar a la práctica y, en consecuencia, si esto se lleva a cabo.

Una vez que ha podido comprobarse la conveniencia de la mejora y su adecuación a las condiciones de la planta y los estándares en uso, hay que presentarla al superior responsable y lograr su aceptación.

Tras la adopción de ésta, hay que instruir a los operadores que afecta y tratar por todos los medios de que el personal de ejecución admita las modificaciones aportadas y obtenga su completa adhesión a la puesta en marcha del nuevo método.

En esta situación conviene asegurarse de que el cambio cumple realmente su papel en todos los aspectos, para lo que es determinante:

- Instruir y entrenar a todos los productores a quienes afecta.
- Comprobar de nuevo las ventajas obtenidas, así como los gastos ocasionados y la calidad del trabajo.
- Asegurarse regularmente y durante bastante tiempo de que el nuevo método es el único que se emplea (muy importante).
- Cuando el nuevo método lleve algún tiempo en práctica y se hayan podido estudiar los resultados, comparar éstos con las previsiones.

11.5. Transporte y manipulación de materiales

La manipulación de materiales y herramientas es normalmente necesaria para desarrollar cualquier actividad humana. Este hecho acentúa la importancia que actualmente tenga en los procesos de fabricación el *mover alguna cosa*; se ha comprobado que en algún proceso este movimiento ha llegado a ser el 85 % del tiempo total invertido.

Para llevar a cabo esta manipulación es necesario aportar bien personas o medios mecánicos, sin olvidar que la falta de uno u otros llegaría a paralizar el proceso por inmovilización de los materiales.

El estudio de los métodos de trabajo siempre ha estado íntimamente relacionado con el manejo o manipulación de los materiales, y los principios de esta técnica no son otros que los de la *economía de movimientos* ya expuestos y ahora ampliados.

Es importante recordar que la manipulación aumenta el costo de fabricación sin aportación de valor alguno al producto acabado. De aquí la conclusión de que la mejor manipulación es la que no existe.

Por otra parte, toda manipulación influye en la duración, coste y calidad de los procesos de producción.

Asimismo, cuando se haya de abordar algún tipo de manipulación se deben tener presentes algunas normas, entre las que destacaremos especialmente:

- Los materiales han de estar situados a la altura adecuada para operar.

Siempre que sea necesario recoger o depositar algo, cabe la posibilidad de evitar alguna manipulación y, desde luego, los materiales no se han de dejar en el suelo, sino sobre mesas o plataformas.

- Reducir al máximo posible las distancias que recorrer por los materiales utilizados.
- Utilizar la fuerza de la gravedad procurando que los materiales rueden o se deslicen por vertederos o planos inclinados, para evitar así esfuerzos inútiles de manipulación.
- Si los productos o componentes han de moverse dentro de un puesto de trabajo o ser transportados a otros, puede ser conveniente hacerlo en la mayor cantidad posible de acuerdo con los medios de que se disponga. Todo ello en la medida que no se contravengan aspectos de eficiencia más importantes (por ejemplo, en *lean manufacturing* no está bien visto acumular materiales, ya que generan stock y alargan el *lead time*).
- Disponer de las suficientes cajas o plataformas y disponerlas de manera que el operario pueda sacar una pieza de un recipiente cuando la necesite y depositarla en otro cuando la haya terminado.
- El número de trabajadores empleados en transportar materiales ha de reducirse al máximo (dado que no aportan valor), siempre y cuando ello no implique que los propios operadores de los procesos se tengan que ocupar del transporte, a no ser que estén desocupados (por ejemplo, cuando las máquinas trabajan solas) o sea conveniente que asuman el transporte.
- Mantener los pasillos siempre desocupados para no impedir que el equipo de manipulación de materiales funcione correctamente.
- Analizar si es correcta cualquier acumulación de materiales existente en puestos de trabajo y sus máquinas y elementos de trabajo, almacenes, puntos de recogida y traslado o en lugares y de forma que supongan una malversación de espacio.
- Considerar si los medios de manipulación son los correctos y si han de ser personas o medios mecánicos quienes hayan de ocuparse de ello. Además, estudiar si los recipientes utilizados para el transporte de piezas son cómodos para su manejo y no de excesiva capacidad, en función del tipo y número de piezas que han de alojar.

- Los medios: ¿se han proyectado de forma parcial, es decir, solo para el manejo dentro de una sección, o por el contrario son de utilización general, es decir, para toda la fábrica?
- ¿Se han proyectado los pasillos teniendo en cuenta la movilidad y radios de giro de las carretillas, etc.?
- Analizar allí donde se produzcan retrasos o esperas, entre otras cosas por:
 - Materiales no identificados o mal identificados.
 - Itinerarios o recorridos realizados arbitrariamente.
 - Falta de coordinación entre las distintas secciones.
- Utilizar para el transporte medios mecánicos siempre y cuando y después de un riguroso estudio esto implique que las economías que se espere lograr con ellos justifiquen su inversión.
- Prever el aspecto de movimiento de materiales al proyectar los edificios que albergarán procesos de fabricación.
- Combinar en la medida de lo posible el movimiento de materiales con el proceso de fabricación en sí.
- Contratar con el suministrador el embalaje más adecuado para nuestro proceso.
- Coordinar los movimientos dentro de la planta para que éstos no entren en conflicto.

11.6. Análisis de los desperdicios más importantes en los procesos de producción

Este aspecto tan importante, y más aún con las tendencias más recientes de la gestión de los procesos productivos, implica, por encima de todo, cuestionarse:

- ¿Cuántas de actividades desarrolladas son *absolutamente necesarias* para nuestros procesos de producción?
- ¿Cuántas de estas actividades están *añadiendo valor al producto*, en lugar de costo?
- ¿Cuántas de estas actividades están relacionadas con aspectos o características que *preocupan al cliente*?

Fujio Cho, el primer presidente de Toyota que se preocupó de difundir en inglés —y por tanto dirigiéndose al mundo exterior— la cultura del nuevo sistema que desarrollaron, definió el concepto de desperdicio (*muda* en la cultura japonesa) como:

Todo lo que no sea cantidad mínima de equipo, materiales, piezas, espacio y tiempo del trabajador, que resulten absolutamente esenciales para añadir valor al producto.

Si se examina el tiempo que las personas se hallan en una planta de producción, se descubre que más del 95 % del tiempo de un trabajador cualquiera no se está utilizando para añadir valor al producto; muy al contrario, está añadiendo costo al producto.

Así, con gran frecuencia se dan, entre ellas, los siguientes desperdicios:

- Espera de materiales.
- Observación de una máquina mientras opera.
- Producción defectuosa.
- Búsqueda de herramientas.
- Reparación de averías en las máquinas.
- Producción de artículos innecesarios.

Si nos referimos a los materiales, el panorama no es mucho mejor: en las implantaciones de tipo tradicional-funcional es habitual que los materiales estén almacenados o en espera de ser trasladados, procesados o inspeccionados durante más del 95 % del tiempo.

¿Y las máquinas o medios de producción? Es también corriente que se hallen procesando artículos innecesarios o defectuosos, sin olvidar la frecuencia con la que están averiados o necesitan mantenimiento. Por lo que se refiere a las máquinas, se dan con gran frecuencia los siguientes desperdicios:

- Movimiento innecesario de máquinas.
- Tiempo de cambio de útiles, plantillas, etc.
- Averías en las máquinas.
- Mantenimiento no productivo.

- Producción de artículos defectuosos.
- Producción de artículos cuando no se necesitan.

11.7. Etapas de la mejora de procesos, atendiendo a las tendencias avanzadas de gestión y la eliminación de desperdicios

1. Analizar las características del proceso actual:

- Enjuiciar y criticar el proceso y los métodos aplicados al mismo.
- Registrar las actividades que componen el proceso.
- Analizar el flujo del producto y el *layout* de los procesos.
 - Analizar el volumen de materiales que avanzan en flujo: el ideal es una sola unidad y que avance de forma regular y constante.
 - Determinar el stock en proceso, medido en tiempo (un stock no es grande o pequeño por su volumen, sino por el tiempo de producción que cubre).
 - Analizar los desequilibrios del proceso, bien sea en los puestos cuello de botella, donde se acumula stock en proceso, o en los más rápidos, que pueden llegar a estar parados (tiempo de vacío).
 - Evaluar la utilización de la mano de obra disponible y su nivel de ocupación.
 - Analizar los tiempos de paro en el proceso, tanto si son programados (cambios de útiles, mantenimiento autónomo, etc.) como si no.

2. Establecer objetivos para la mejora del método:

- Reducir o eliminar los tiempos de vacío, sea cual sea su origen.
- Reducir los tiempos de paro programado mejorando el ritmo de la actividad en ellos (i.e., reducir los tiempos de preparación)
- Operar en lotes tan pequeños como sea posible. En el ideal, una única unidad de producto (flujo pieza a pieza).
- Colocación de máquinas y otros elementos optimizando el flujo.
- Reducir al mínimo todo tipo de stock, tanto de materiales en curso (WIP) como de producto acabado.
- Implantación física en flujo, pero en forma de U (células flexibles)
- Automatización con *toque humano (jidoka)*, tanto de la operativa como

de la alimentación de las líneas (la descarga preocupa menos).

- Homologar útiles y herramientas.
- Aseguramiento de la calidad, sea con las funciones de *jidoka* o *dispositivos poka-yoke*, además de utilizar las herramientas que identifican las causas de problemas (cinco porqués, diagrama de Ishikawa, check lists, etc.).
- Aplicar todas las medidas que permitan acortar el *lead time* (más allá de lo ya citado, como es la operativa en flujo unidad a unidad).
- Ajustar la producción a la demanda, asegurando una operativa *pull*.
- Operar en líneas multiproducto, siempre que sea aconsejable, con los productos agrupados por familias.

3. Acciones para el inicio de la mejora:

- Comenzar abordando los cuellos de botella.
- Eliminar más desequilibrios, ahora en puestos con tiempos de vacío.
- Los tiempos de preparación también son tiempos en que el operador no produce, por lo que correspondería ocuparse de ellos ahora.
- Apostar por la implantación en flujo, evolucionando hacia ella (normalmente desde la de tipo funcional), flujo que hay que porfiar hasta que sea de una sola unidad.
- Eliminados los cuellos de botella y tiempos de vacío, se puede balancear el sistema y sus puestos, logrando un flujo regular y constante.
- Disponer de un modo *pull* de operar, por ejemplo, un sistema *kanban*.
- Con todo lo efectuado hasta ahora, el stock en curso ha de ir desapareciendo automáticamente.
- Implementar un sistema de transferencia de producto que mantenga las características del sistema implantado.
- Universalizar, reacondicionar las máquinas, herramientas y útiles.
- Establecer un sistema eficiente de control de producción.
- Establecer un sistema eficiente de control de calidad.

11.8. Adaptación de los transportadores a producción flexible y sin desperdicios

Los transportadores pueden facilitar las producciones en grandes series, propias de la gestión tradicional; además pueden contribuir a rigidizar más un sistema de por sí muy rígido debido a la especialización del trabajador. Sin embargo, debidamente implementados, pueden ser de gran utilidad para procesos de ensamblaje enfocados a pequeñas series y con toda la flexibilidad necesaria. Naturalmente, hay ocasiones en que es de gran ayuda e, incluso, indispensable, cuando el producto que ha de avanzar tiene un volumen y/o peso elevado.

Existe pues la posibilidad de realizar operaciones de ensamblaje en células flexibles e, incluso, en líneas de montaje en serpentín, compuestas por células enlazadas entre sí, según ha sido ya expuesto. El producto, sobre el serpentín, puede avanzar por medios mecánicos, lo que supondría utilizar una cadena —no recta— para una producción adaptada a las características del *lean manufacturing*.

Los transportadores pueden conllevar ventajas que, de prevalecer sobre los inconvenientes, suponen una alternativa competitiva de mejora. La tabla de la figura 11.5 destaca algunos de los inconvenientes de los transportadores y cómo eliminarlos aplicando el enfoque *lean*.

TRANSPORTADORES: VENTAJAS E INCONVENIENTES

Inconvenientes y desperdicios generados	Ventajas y desperdicios eliminados
TIEMPOS DE VACÍO: El transportador impone el mismo ritmo a todos los puestos: el del más lento. Los demás se acoplan a él o tendrán tiempos de vacío	Eliminado con trabajadores DE PIE en lugar de sentados y MOVILES en lugar de fijos, con posibilidad de asumir más o menos tareas.
ACTIVIDAD NVA: Tiempo perdido para colocar y retirar las piezas en el transportador	Eliminado si se trabaja con el producto sobre el transportador en marcha
STOCK de producto en curso sobre el transportador, que aumenta si el balanceado impuesto no es real	Con un buen balanceado, solo habrá unidades en pleno proceso en el transportador
STOCK de producto fuera del transportador	Si no se opera en grandes lotes se puede reducir como en cualquier otro proceso sin transportador
DEFECTOS producidos operando en grandes series, aislamiento de los trabajadores sentados y ESPERAS si el balanceado no es real	Problemas eliminados operando en pequeños lotes, personal de pie y con formación polivalente y efectuado un balanceado real.
ESPERAS: Tiempo de cambio de útiles largo si se efectúa con todo el transportador parado	Puede efectuarse con una preparación en un solo puesto en cada ciclo y el transportador no para
Otros: Falta de asistencia mutua operarios, concentrados cada uno en su "parcela" del montaje	Con polivalencia y distribución variable de tareas entre los operarios, situados de pie, se apoyaran

Figura 11.5. Inconvenientes de los transportadores y su eliminación con filosofía *lean*.

Así pues, los transportadores utilizados en los procesos de montaje tradicionales ¿no pueden aportar ventajas? (que no haya por sí en la operativa en cadena sin transportador). Sí pueden. En los sistemas de producción en masa con puestos especialistas, los transportadores pueden aportar ventajas aprovechables para mejorar, tales como:

- El material fluye automáticamente hasta cada trabajador, que no ha de ocuparse de ello y concentrarse allí donde puede aportar valor. Una vez más hemos de añadir que si el producto es grande y/o pesado, las ventajas del transportador son innegables.
- Se puede forzar el ritmo de los trabajadores al que se considere correcto (controlando la velocidad del transportador).
- De haber opciones para aumentar la productividad, este aumento se puede plasmar en la práctica, sin más que aumentar la velocidad del transportador.
- El transportador fuerza el balanceo, pero hay que hacer un esfuerzo

para que no sea artificial; de lo contrario, aparecerán, de alguna manera, stock y tiempos de vacío.

11.9. Metodología para acometer la mejora de métodos

Vamos a exponer a continuación, con la ayuda de un ejemplo práctico, la metodología para la implantación del método mejorado en un proceso de producción. Se tratará de una planta de fabricación de altavoces, y partiremos del método actual que obedece a la distribución en planta de la figura 11.6 y la tabla de la figura 11.7 con el registro de actividades y sus datos.

El proceso se compone de las siguientes actividades:

1. Fabricación del imán permanente.
2. Fabricación de la bobina móvil.
3. Fabricación del cono.
4. Montaje solidario del cono y bobina móvil.
5. Colocación de la bobina móvil en el imán.
6. Fabricación de la caja acústica de madera.
7. Montaje del altavoz en la caja.
8. Colocación de elementos de absorción y filtros eléctricos.

FABRICACIÓN DE ALTAZOES

Método actual

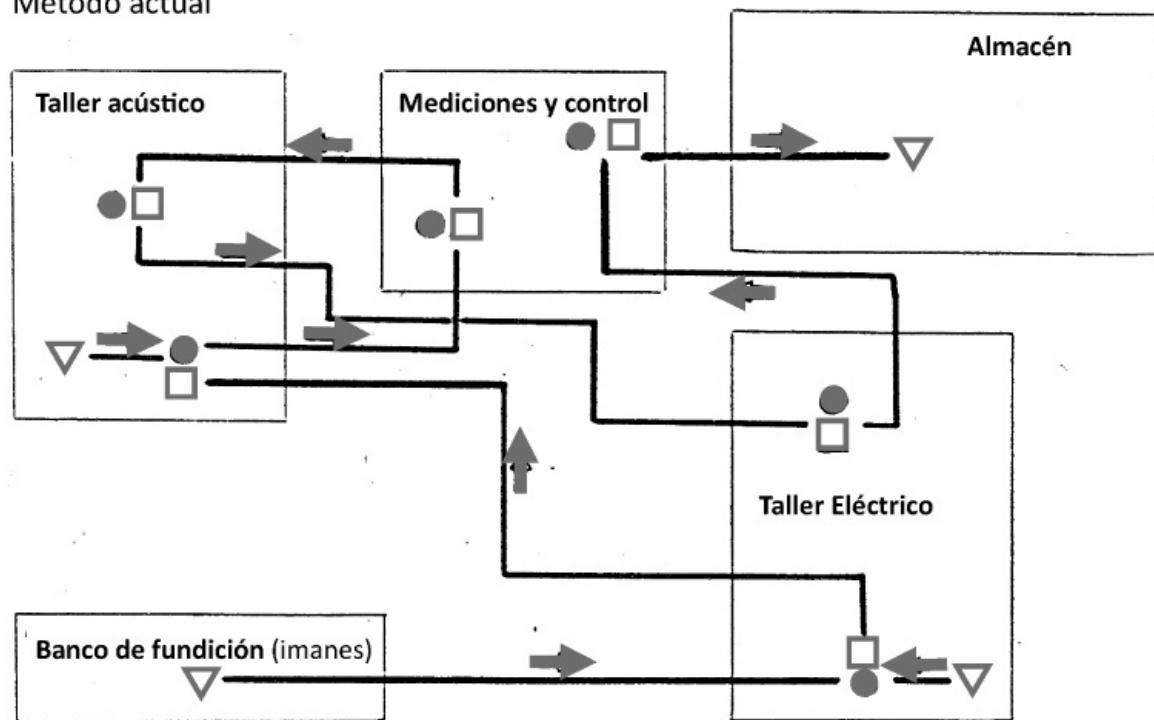


Figura 11.6. Layout de la planta de fabricación de altavoces.

Descripción actividad	Cantidad (unidades)	Distancia (metros)	Tiempo (minutos)	Tipo de actividad				
				●	➡	D	□	▽
1. Almacenaje imanes	—	—	—					
2. Cargas en carretilla	50		5					
3. Llevar a montaje bobinas	500	20	10					
4. Descargar carretilla	50		5					
5. Montaje bobinas	50		50					
6. Espera carretilla	—		5					
7. Cargar carretilla	50		5					
8. Llevar a montaje conos	500	30	15					
9. Descargar carretilla	50		5					
10. Montaje conos	50		50					
11. Cargar carretilla	50		5					
12. Llevar a control	500	10	5					
13. Descargar carretilla	50		5					
14. Efectuar el control	50		60					
15. Cargar en carretilla	50		5					
16. Llevar a cajas acústicas	200	10	5					
17. Descargar carretilla	50		5					
18. Montaje de cajas	50		50					
19. Cargar	2		5					
20. Transportar a filtros	50	20	10					
21. Descargar	2		5					
22. Montaje filtros	10		20					
23. Cargar en carretilla	2		5					
24. Transportar a control	50	10	5					
25. Descargar carretilla	2		5					
26. Efectuar el control	10		20					
27. Cargar en carretilla	10		5					
28. Transportar a almacén	2	10	5					
29. Descargar carretilla	50		5					
30. Almacenar	20	—	—					
Totales:			110	380	4	21	1	2
								2

Figura 11.7. Registro de los datos de las actividades del proceso actual.

Tal como se ve en la tabla de la página siguiente (figura 11.7), se recorren 110 metros, en un total de 38 minutos.

La metodología seguida para el análisis de las actividades del método actual nos lleva a plantear las cuestiones ya expuestas anteriormente:

- *¿Qué?* (objetivos)
- *¿Dónde?* (lugar)
- *¿Cuándo?* (momento)
- *¿Quién?* (persona y/o equipo)
- *¿Cómo?* (procedimiento)

Que han de llevarnos a plantear las siguientes acciones posibles, según ya se expuso con anterioridad:

- **ELIMINAR** (*¿qué?*): será lo primero que tratará de lograrse si ha lugar.
- **COMBINAR** con otra actividad (*¿dónde?, ¿cuándo?, ¿quién?*), que será una forma solapada de eliminar una actividad, si no ha podido hacerse directamente.
- **INVERTIR** el orden con otra actividad (*¿dónde?, ¿cuándo?, ¿quién?*), que podrá permitir posibles eliminaciones o combinaciones posteriores.
- **SIMPLIFICAR** actividades (*¿cómo?*), las que no hayan podido eliminarse, combinarse ni ser invertidas en acciones anteriores, pero por lo menos sean susceptibles de ser simplificadas.

Otra opción es la de **SUSTITUIR** las actividades no mejoradas, o no lo suficientemente, con las anteriores cuestiones. Las preguntas son las mismas (*¿qué?, ...*), pero referidas a posibles sustituciones.

Realizando todo ello, actividad a actividad, y con los criterios y normas ya expuestos, se podrá llegar a establecer el nuevo método. La figura 11.8 presenta el documento de análisis y su aplicación al proceso, cuyas actividades se han desplegado en la figura 11.7, al analizar la actividad número 6: la espera

de la carretilla después de terminar el montaje de un lote de bobinas. Como puede apreciarse, la solución ha sido **ELIMINAR** la actividad, que es de tipo espera, y **SUSTITUIR** la carretilla por una cinta transportadora, que siempre está disponible y, por tanto, no requiere espera alguna.

Con las demás actividades se procedería de manera similar, con el mismo tipo de documento. Así, por ejemplo, las actividades de «cargar en carretilla» y «llevar a...» se pueden **COMBINAR** en una sola, al disponer de una cinta transportadora (se carga y la propia cinta se encarga de llevar). Otro ejemplo sería la **COMBINACIÓN** de los dos controles (actividades 14 y 26) realizando los dos en el mismo momento y lugar. Así, las actividades 11, 12 y 13 dejarían de existir para **COMBINAR** el control (actividad 14) con el otro control (actividad 26). Utilizando ahora una cinta en lugar de la carretilla —tal como se ha hecho en la figura 11.8—, las actividades 23 y 24 anteriores al nuevo control combinado 14-26 se podrían fundir en una sola: cargar en una cinta transportadora. Y así sucesivamente.

ANÁLISIS DE LAS ACTIVIDADES-MODIFICACIONES A PROponER				
Proceso: Montaje 5 bobinas		Actividad/tarea: 6: Esperar carretilla		
Objetivos	Lugar	Momento	Pers./equipo	Procedimiento
Qué se hace:	Dónde se hace:	Cuándo:	Por quién:	Cómo:
Esperar carretilla	Montaje bobinas	Al terminar lote a producir	Operador del montaje	(Inactividad)
Por qué:	Por qué:	Por qué:	Por qué:	Por qué:
Sistema de carga actual	Donde está el lote terminado	Momento que va a control	Ha completado lote bobinas	—
ELIMINAR:	COMBINAR CON:	COMBINAR CON:	COMBINAR CON:	SIMPLIFICAR:
Toda la operación (se trata de una espera)				
	COMBINADA CON:	COMBINADA CON:	COMBINADA CON:	
	INVERTIR CON:	INVERTIR CON:	INVERTIR CON:	
SUSTITUIR:				
Qué sustituir:	Dónde sustituir:	Cuándo sustituir:	Quién sustituir:	Cómo sustituir:
Carretilla	De montaje de	Antes del inicio	Responsable	Depositando
En su lugar:	bobinas hasta	del montaje	De Métodos	lote bobinas
Cinta transportadora	Control	de bobinas		en cinta y no en carretilla
Nueva activid.:	Nuevo lugar:	Nuevo momento:	Nueva pers./ equipo:	Nuevo sistema:
Ninguna	Desde montaje de bobinas hasta control	Antes de inicio del montaje de bobinas	Responsable de Métodos	Cinta transp. siempre disponible (no precisa espera)

Figura 11.8. Documento para el análisis del método actual aplicado a montaje bobinas.

Una vez efectuado el análisis para las actividades del proceso completo, se puede disponer ya del nuevo método para llevar a cabo dicho proceso, que aparece en la figura 11.9, tal como se había mostrado en la 11.7 para el método actual. La figura 11.10 enseña la nueva disposición en planta del proceso, según el método propuesto.

Descripción actividad	Cantidad (unidades)	Distancia (metros)	Tiempo (minutos)	Tipo de actividad				
				●	➡	D	□	▽
1. Almacenaje imanes	—	—	—					
2. Cargar en cinta	30	10	4					
3. Depositar sobre la mesa	10		1					
4. Montaje bobina	10		10					
5. Cinta transportadora	10	5	2					
6. Depositar en mesas	10		1					
7. Montaje conos	10		20					
8. Depositar en cinta	10	5	2					
9. Colocar en mesa	10		1					
10. Control	15		25					
11. Colocar en cinta	15	10	4					
12. Depositar en mesa	6		1					
13. Montaje cajas	6		30					
14. Colocar en cinta	6	5	2					
15. Colocar en mesa	10		2					
16. Montaje filtros	10		20					
17. Poner en cinta	10	5	2					
18. Depositar en mesa	10		2					
19. Control	10	10	20					
20. Colocar en cinta	10		4					
21. Descargar	2		3					
22. Almacén	—	—	—					
T o t a l e s :		50	156	4	14	—	2	2

Figura 11.9. Registro de los datos de las actividades del proceso propuesto.

Los totales del cuadro 11.9 indican claramente que el proceso ha mejorado en varios aspectos, con porcentajes de mejora que hablan por sí mismos:

CONCEPTO	MÉTODO ANTERIOR	MÉTODO NUEVO	DIFERENCIA	% MEJORA
Nº actividades	30	22	– 8	26 %
Distancia	110	50	– 60	54 %
Tiempo	380	156	– 224	59 %
Actividades NVA	26	18	– 8	30 %

11.10. Estudio de tiempos en los procesos de producción. El contenido de trabajo

No puede medirse la magnitud de la mejora del método para la ejecución de las operaciones que componen un proceso productivo sin conocer los tiempos de ejecución de dichos procesos.

Por ello, el estudio de métodos aplicado a un proceso implica la medida de tiempos de las actividades que lo componen.

La Oficina Internacional del Trabajo (OIT) define la medición del trabajo como *«la aplicación de técnicas para determinar el tiempo que invierte un trabajador calificado en llevar a cabo una tarea definida ejecutándola según una norma de ejecución pre establecida.»*

FABRICACIÓN DE ALTAZOES

Método propuesto

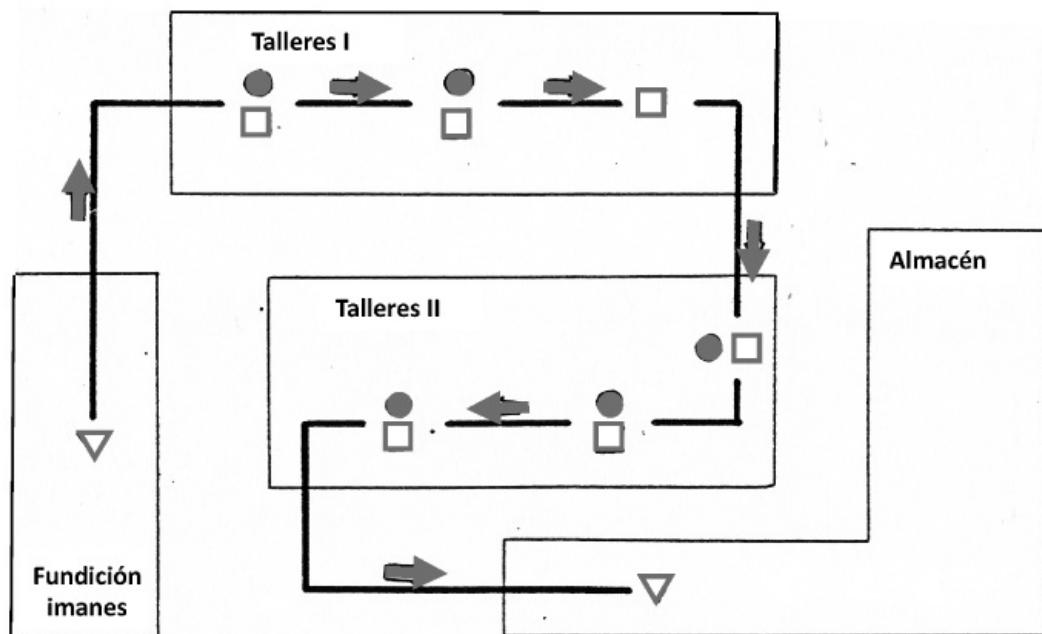


Figura 11.10. Planta de fabricación de altavoces con el nuevo método.

Según esta definición, podemos deducir, por otra parte, que la medida de tiempos no solo es necesaria para un sistema de mejora de métodos, sino que proporciona datos imprescindibles para acometer diversos problemas del sistema productivo:

- Programación de la producción.
- Determinación de plazos de entrega.
- Equilibrado de líneas de producción.
- Cálculo de costes y elaboración de presupuestos.
- Medida de la efectividad profesional del personal laboral, para la jerarquización en niveles retributivos.

Podemos decir que se trata de determinar el tiempo que necesita un trabajador calificado para realizar una serie de operaciones estudiadas trabajando en las mismas con un ritmo normal. Esta medida es lo que se denomina *tiempo tipo* de la operación.

La determinación de tiempos puede llevarse a cabo por medio de dos

sistemas distintos —cronometraje y tiempo predeterminados— y pasa por una serie de etapas que nos obligan a distinguir entre distintas clases de tiempo, como aparece en la figura 10.11. Las diferentes clases de tiempos responden a los criterios que siguen:

- *Tiempo observado*, es el que se mide directamente.
- *Tiempo representativo*, es el que deducimos de una serie de medidas u observaciones. Es el representativo de un trabajador, y éste puede haber actuado de forma más o menos rápida.
- *Tiempo normal*. Dado que se trata de obtener un tiempo para el trabajador medio, es razonable introducir un coeficiente (factor de actividad) que refleje la actuación del trabajador medido, de la que se ha extraído el anterior tiempo representativo.

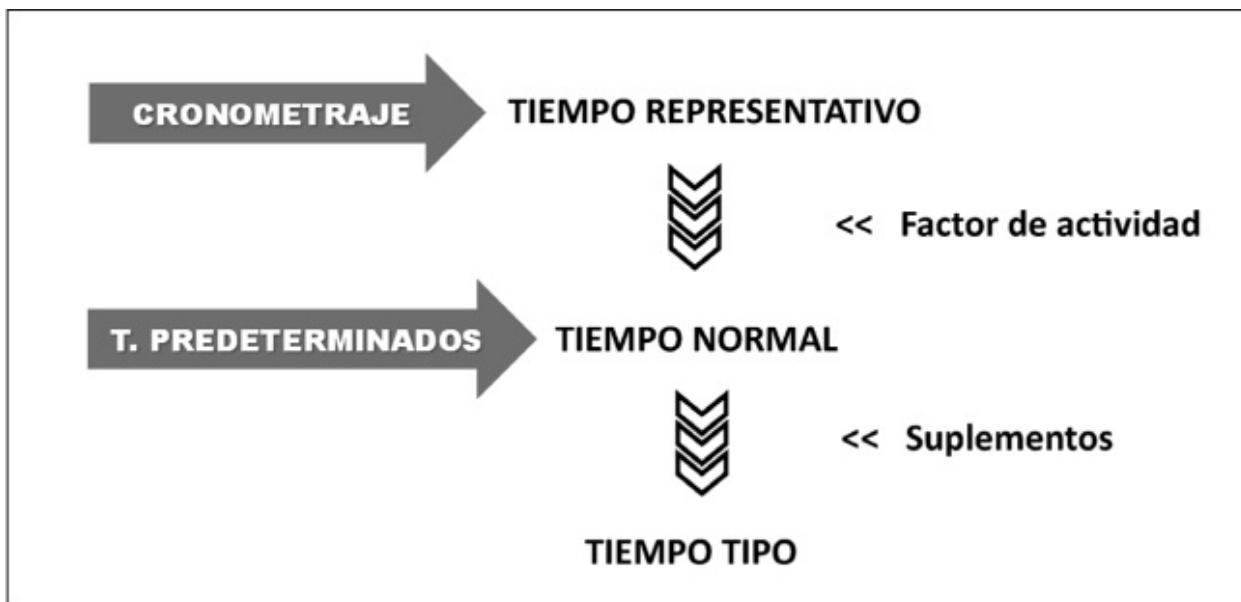


Figura 11.11. Métodos de medida y clases de tiempos.

- *Tiempo tipo*. El tiempo normal sería el ideal, si el trabajador pudiera trabajar siempre con el mismo ritmo y sin interrupciones. En la práctica aparece la fatiga, demoras y necesidades personales. Estos suplementos, que dependen de condiciones locales y personales, son las que transforman el tiempo normal en tiempo tipo.

Por otra parte, la fiabilidad y precisión de la medida de un tiempo aumentarán a medida que la operación se vaya repitiendo. Si un número insuficiente no nos proporciona datos válidos, un número excesivo redundaría en un coste innecesario e incrementaría la dificultad de su análisis. Usualmente, el número de repeticiones vendrá determinado por la experiencia profesional o simplemente por el sentido común. Puede darse la situación, sin embargo, de operaciones complejas o inusuales, en las que la experiencia resulte insuficiente y se precisen modelos matemáticos que nos determinen dicho número de operaciones.

11.10.1. Medida de tiempos por observación directa. Cronometraje

La observación directa implica la toma de los tiempos de los procesos en el momento en que se están ejecutando.

Podemos distinguir dos tipos de observación:

- *Observación discontinua (work sampling)*: se efectúa eligiendo de antemano unos instantes de observación, de acuerdo con un plan establecido con anterioridad. En cada observación se anota el estado del proceso. Resulta útil para determinar frecuencias de aparición de determinados fenómenos, sobre todo paros de máquinas y, también, en aquellas operaciones de larga duración o cíclicas, para las que la medición completa de los tiempos podría incluir errores de fatiga, distracciones u otros factores negativos.
- *Observación continua (cronometraje)*: pretende obtener la medida del tiempo empleado en una actividad desarrollada en un puesto de trabajo, por medio de un cronómetro. Se utiliza para medir tanto los tiempos de máquinas como los del operador. Tal como se ha comentado en el epígrafe anterior, este tiempo habrá de ponderarse por un factor de corrección a fin de nivelar la actuación de los distintos operadores. El hecho de tener que introducir este factor de corrección hará que dicho método sea subjetivo.

Para medir los tiempos pueden emplearse cronómetros tradicionales (véase figura 11.12), aunque existe instrumentación específica, así como sistemas

informáticos de cronometraje que simplifican dichas tareas.

11.10.2. Medición basada en tiempos predeterminados tabulados

En este procedimiento no se toma ninguna medida de tiempos, sino que se registran los gestos o movimientos que realiza el trabajador para ejecutar determinada actividad. Existen tablas muy completas con las referencias de tiempos asociadas a cada gesto o movimiento, teniendo en cuenta el entorno de trabajo. El tiempo total de la operación podrá obtenerse por medio de la suma de todos los tiempos relativos a cada gesto.

Mientras que el método de cronometraje se aplica a procesos ya implantados y que desean ser mejorados, los sistemas de tiempos predeterminados pueden emplearse para el diseño de nuevos procesos. Por otra parte, los sistemas de tiempos predeterminados constituyen, además, un método objetivo, ya que no requiere ponderación con factores de corrección. Aunque pueda pensarse que es un método poco preciso, las especificaciones de los movimientos son muy completas, y la unidad de medida o TMU (*Time Measurement Unit*) es de 1/100.000 de hora, mucho más pequeña que el segundo.

Si tratáramos de comparar la medida de tiempos mediante el cronometraje con la de los tiempos predeterminados, los aspectos clave serían:

ASPECTOS	CRONOMETRAJE	T. PREDETERMINADOS
Objetivo	Tiempo	Método
Control	Interno	Externo
Costo	Bajo	Elevado
Aplicaciones	Mejora, costos, primas	Diseño, mejora, costos
Objetividad	Baja	Elevada
Presión sobre operador	Sí por presencia elevada	NO por mínima presencia

Actividades de	Procesos en marcha	Nuevos proyectos
----------------	--------------------	------------------

11.11. El cronometraje

Tal y como ha sido expuesto, este método de determinación del tiempo de las actividades de los procesos se basa en la observación, de manera continuada y durante un intervalo de tiempo, de la operación cuyo tiempo queremos medir.

En este método se deberá ponderar el tiempo medio por un factor de corrección que tendrá en cuenta la destreza o habilidad del operario. Las unidades de medida más empleadas serán el segundo, la centésima de segundo o la milésima de hora.

Aunque podemos medir el tiempo global empleado en una actividad, el uso del factor de corrección nos impondrá la medida total como la suma de medidas parciales de tiempos. Dado que una actividad puede estar compuesta de varias acciones elementales y que en cada acción elemental la actuación del operario puede variar considerablemente, habrá que considerar un factor de corrección diferente a cada acción y sumar los tiempos parciales debidamente corregidos.

Así pues, las acciones no pueden ser muy largas si se ha de mantener un único factor de actuación, pero tampoco demasiado cortas por ser muy difíciles de cronometrar. En general, el paso de una acción a otra se hará cuando se observe un cambio de ritmo en el operario.

Una vez determinadas las acciones elementales, el cronometraje puede efectuarse de modo acumulativo o de vuelta a cero. En el modo acumulativo, se pone en marcha el cronómetro al inicio de la operación y se van anotando los tiempos en los que finaliza cada acción elemental. Los tiempos parciales se obtendrán por restas de los valores posterior y anterior. En el método de vuelta a cero, cronometramos cada acción elemental individualmente. Exige una puesta a cero antes de cada acción. De este modo se facilita la lectura parcial, pero la omisión de una lectura impide encontrar el tiempo total de operación. El cronómetro de la figura 11.12 puede operar de ambos modos (memoriza los lapsos parciales) y, además, puede efectuar mediciones con

distintas unidades de tiempo.

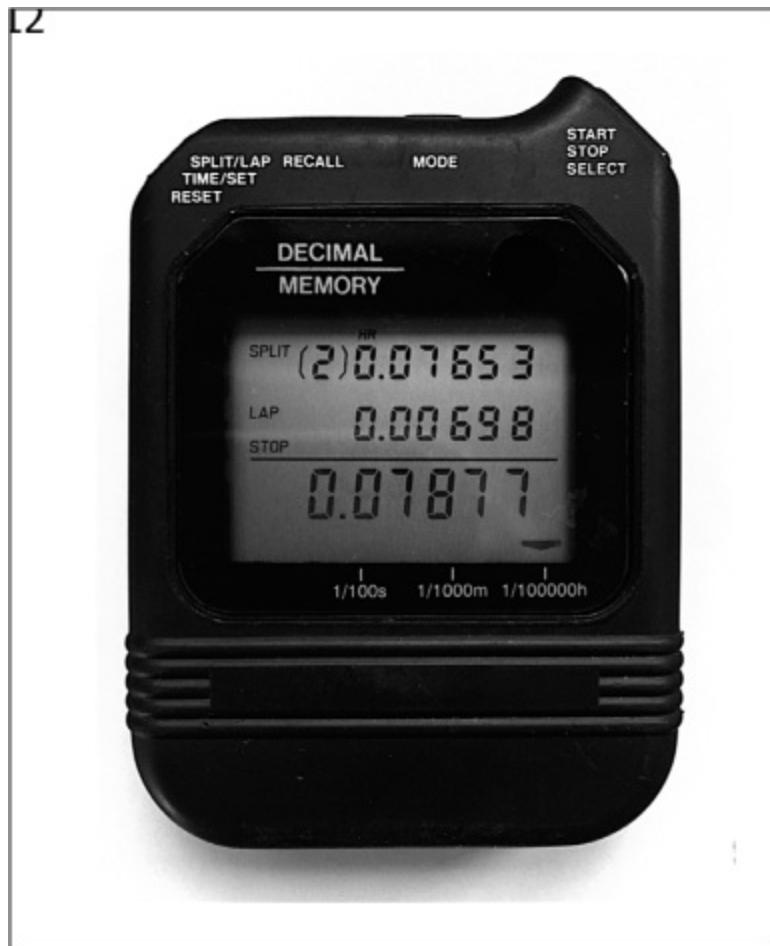


Figura 11.12. Cronómetro.

11.11.1. El factor de actuación

El factor de actuación es fruto del juicio que realiza el observador sobre el nivel o ritmo de actividad desarrollada por el operador en la ejecución de una acción, comparado con un patrón de actuación normal.

Si bien el término *factor de actuación* es el empleado comúnmente en EE. UU. pueden utilizarse también otros, tales como *coeficiente de actividad* (común en España) o *ritmo de trabajo* (OIT).

Dicho factor es el resultado de la pericia, habilidad y rapidez con que el operador realiza los movimientos que requiere una acción determinada y su comparación con un ritmo normal de trabajo. Se entiende que el ritmo o

actividad normal es *el desarrollado por un operario medio que actúa bajo una dirección competente, pero sin el estímulo de una recompensa por rendimiento*. Es también aquel ritmo que puede mantenerse día tras día sin excesiva fatiga física o mental. Se caracteriza por un esfuerzo constante y razonable.

11.11.2. Tiempo normal de actuación

Se define como el empleado para ejecutar una determinada acción a un ritmo o actividad normal. Necesitamos una escala de valores que sea representativa a fin de cuantificar la desviación con ese patrón. Para tal fin usaremos la característica:

$$\text{Tiempo empleado} \times \text{factor de actividad} = \text{constante}$$

Es lógico pensar que tal relación puede cumplirse, dado que se compensan tiempos menores con factores de actividad mayores y viceversa.

Dicha constante la podemos hallar sustituyendo en la ecuación anterior cualquier par de valores conocidos. En particular, emplearemos los tiempos normales de operación, ya que es donde fijamos la referencia del factor de actividad normal.

$$\text{Tiempo normal} \times \text{factor de actividad normal} = \text{constante}$$

Podemos definir también el concepto de *ritmo óptimo* como la actividad desarrollada por un operario capacitado bajo el estímulo de un incentivo, al utilizar todo su potencial sin padecer una fatiga excesiva.

Diversos estudios demuestran que entre un ritmo normal y uno óptimo existe una relación de tiempos de 4 a 3. Podemos decir que la actividad óptima es igual a $4/3$ de la actividad normal. Un ejemplo de patrón de actividad normal para la velocidad de una persona al andar puede ser de 4,5 km/h. Para un ritmo óptimo sería de 6 km/h.

Una escala usualmente empleada es la llamada escala 60-80. Se asocia el valor 60 a una actividad normal y 80 ($=60 \times 4/3$) a una actividad óptima. Así, podría decirse que un valor de 40 representaría un ritmo deficiente y uno de 100 sería considerado excepcional.

Una vez escogido un valor del coeficiente de actividad para el tiempo

normal (o para el tiempo óptimo), los factores asociados a cualquier tiempo hallan su valor despejando de la ecuación:

$$\begin{aligned} \text{Tiempo empleado} \times \text{factor de actividad} &= \\ \text{Tiempo normal} \times \text{factor de actividad normal} &= \text{constante} \end{aligned}$$

Con lo que:

$$\text{Factor de actividad} = \frac{\text{Tiempo normal} \times \text{Factor de actividad normal}}{\text{Tiempo empleado}}$$

Por ejemplo, si elegimos la escala 60-80, dado un tiempo de operación de una acción para ritmo normal de 15 segundos, si determinado operario emplea 20 segundos, podremos decir que su factor de actividad es de $15 \times 60/20 = 45$. Evidentemente, por emplear mayor tiempo le corresponde un factor de actividad menor que el normal.

Este método, sin embargo, sirve para una primera referencia, puesto que la evaluación del factor de actividad se realiza por el cronometrador antes de saber el tiempo empleado.

Para ello es necesario un entrenamiento adecuado. Lo que se pretende es hallar el tiempo normal de operación, estimando el factor de actividad previamente y cronometrando el tiempo empleado. Entonces podemos despejar el tiempo normal en la expresión anterior:

$$\text{Tiempo normal} = \frac{\text{Tiempo empleado} \times \text{Factor de actividad}}{\text{Factor de actividad normal}}$$

Es fundamental, sin embargo, asegurar los valores para una actividad considerada normal u óptima, ya que de ello depende el sistema de ponderación. Con este fin existen diversas películas o videos, para una gran diversidad de acciones, que presentan los diferentes ritmos de trabajo.

De igual manera, se ha de revisar periódicamente el concepto que de dichos valores tienen los cronometradores, con la idea de unificar criterios y realizar medidas coherentes.

11.11.3. Cálculo del tiempo de operación y el factor de actividad

Veamos, con un ejemplo, la metodología empleada para determinar el tiempo representativo de una actividad y su factor de actividad. Supongamos que se cronometra cinco veces una determinada acción elemental, estimando, antes de cronometrar, su factor de actividad. De tales mediciones obtenemos cinco tiempos y cinco factores de actividad. Con estos valores llenamos la tabla de la figura 11.13.

Nº	Tiempo (s)	Factor actividad	Tiempo x f. actividad
1	21	50	1.050
2	23	55	1.265
3	18	45	810
4	21	50	1.050
5	21	53	113
Tiempo más frecuente: 21			Promedio: 1.057
Promedio / Tiempo más frecuente: 50			

Figura 11.13. Cálculos de tiempos y factor de actividad para un caso-ejemplo.

Se considerará como tiempo representativo el tiempo más frecuente. Para determinar el factor de actividad nos basaremos en la característica $tiempo \times factor = constante$. Para ello se determinará el valor de $tiempo \times factor$ estimado y lo dividiremos por el $tiempo$ representativo.

11.12. Sistemas de normas de tiempos predeterminados

Para la determinación del tiempo normal, además de los métodos de observación directa del trabajo y evaluación subjetiva del factor de actividad, descritos anteriormente, puede recurrirse —muchas veces con ventaja— a valores preestablecidos, resultado de una minuciosa descomposición de las actividades en elementos (movimientos) muy simples.

Los *sistemas de normas de tiempos predeterminados* (NTPD) permiten, mediante la aplicación de técnicas avanzadas, obtener el tiempo de una actividad más o menos compleja a partir de los tiempos de los movimientos básicos que en ella intervienen. Según la definición de la Oficina Internacional del Trabajo: «*El sistema de normas de tiempos predeterminados es una técnica de medición del trabajo en que se utilizan tiempos determinados para los movimientos humanos básicos (clasificados según su naturaleza y las condiciones en que se hacen), a fin de establecer el tiempo requerido por una tarea efectuada según una norma dada de ejecución*».

La base de todo sistema de tiempos predeterminados es el hecho de que las variaciones del tiempo necesario para realizar un mismo movimiento son netamente pequeñas para diferentes operadores que hayan recibido un entrenamiento adecuado.

Los sistemas NTPD se basan en tiempos catalogados para cada tipo de movimiento, y nunca en la observación directa. El procedimiento consiste en descomponer la operación en sus movimientos básicos (agarrar, colocar, etc.) y consultar los *valores de tiempo que asignan las tablas de NTPD* a cada uno de dichos movimientos. Estos valores incluyen ya el factor de actividad, es decir, el tiempo con actividad normal o preestablecida. Por el contrario, los tiempos de las tablas de NTPD no incluyen ningún tipo de suplemento, que deberán añadirse, al igual que con los tiempos tomados directamente, para obtener finalmente el tiempo tipo.

11.12.1. Evolución histórica

Los primeros estudios realizados sobre los movimientos fueron desarrollados por Frank B. Gilbreth, quien sintetizó la actividad humana en movimientos o grupos de movimientos, a los que llamó *Therbligs* (su apellido invertido). Gilbreth distinguió diecisiete movimientos fundamentales de manos y ojos, y llegó a la conclusión de que el mejor método de trabajo era aquel en el que intervenían menos movimientos. Posteriormente, en los años sesenta, Ralph

M. Barnes completó estos estudios.

El sistema de tiempos predeterminados se atribuye a A.B. Segur, quien ya en el año 1927 introdujo el concepto de *tiempo constante* para los movimientos realizados por operarios expertos. En 1934, los trabajos de Quick, Koehler y Shea conllevaron la aparición del *work factor*, con la publicación de las tablas QSK basadas en los desarrollos de Segur. No fue hasta el año 1940, con la llegada de la variante *ready* del *work factor*, que este método cobró una gran difusión.

A partir de los años cuarenta surgieron una gran variedad de métodos NTPD; el más importante y que ha llegado a nuestros días con múltiples desarrollos es el MTM (*Methods Time Measurement*). El sistema MTM fue desarrollado en la sede de la Westinghouse Electric Corporation por H.B. Maynard y su equipo de colaboradores. En el año 1965 apareció una versión simplificada de este método, el MTM-2, que ha alcanzado una gran implantación y centrará nuestro estudio (el MTM-1, como se conoce ahora el sistema original, se reserva para procesos muy complejos).

11.12.2. Valoración de los sistemas NTPD

Los sistemas de NTPD han alcanzado actualmente una gran difusión. Su estudio y utilización han evidenciado sus grandes ventajas, aunque también algunos inconvenientes. A continuación, de forma concisa, evaluaremos dichos aspectos.

Ventajas de su aplicación:

- No utilizan la observación y cronometraje para obtener los tiempos, lo que proporciona resultados mucho más fiables. Sabemos ya que la observación y valoración directa pueden inducir a errores, debido a su carácter subjetivo.
- Permiten el cálculo de tiempos de procesos en su fase de concepción, debido a que los datos no dependen de observaciones directas, sino que son extraídos de tablas. Así, se pueden valorar los tiempos de un proceso sin que ni siquiera exista físicamente.
- No presentan ninguna dificultad en su aplicación y brindan un gran ahorro de tiempo para ciertas mediciones.

- Están especialmente indicados para las operaciones con ciclos cortos de tiempo y gran repetitividad. Un ejemplo lo tendríamos en una cadena de montaje.

Como inconvenientes, el más importante es:

- No pueden cubrir todos los aspectos recogidos en un proceso industrial; por ejemplo, los tiempos de máquina y de espera no pueden ser evaluados con estos métodos, aunque sí existen ya algunas tablas para la robótica.

De todas formas, muchas de las críticas que se vierten sobre estos sistemas son debidas a una mala interpretación de las premisas básicas. Existen algunos aspectos que considerar:

- Los valores que aparecen en las tablas NTPD son promedios, por lo que los márgenes de fluctuación de dichos valores son prácticamente despreciables.
- El tiempo necesario para ejecutar un movimiento está condicionado por el movimiento que lo precede y el que le sigue. En el tiempo dado por las tablas de los sistemas de NTPD para un movimiento concreto, ya se encuentra implícita la correlación con el movimiento anterior y posterior.

Del conjunto de sistemas de NTPD existen algunos de propósito general y otros de aplicación específica para determinados sectores. Los diferentes niveles del MTM y del *work factor* son válidos en todos los segmentos de actividad manual. Existen otros sistemas de aplicación específica, como el *Master Clerical Data* utilizado en oficinas, o el MTM-V aplicable a talleres de máquinas.

11.12.3. Normas y aplicaciones de los sistemas NTPD

Como se ha dicho, a través de este sistema se obtienen directamente los tiempos que corresponden a un factor de actividad dado —en principio normal— o con una corrección porcentual del mismo (así, para los sistemas

MTM, los tiempos tabulados tienen un incremento del 11 % sobre los correspondientes a la actividad normal).

La extrema minuciosidad de la división que extraen estos métodos de las actividades más sencillas en gestos elementales (basta con ver que la unidad de tiempo adoptada por el MTM —el TMU— es la cien milésima parte de una hora) los convierte en muy útiles para muchas aplicaciones, aparte de la clásica de establecimiento de tiempos normales de ejecución. Entre estas aplicaciones destacamos:

1. *Establecimiento de métodos eficaces para un nuevo proceso:*

Tradicionalmente y, en el supuesto de que intervenga la oficina de métodos, se establece un diálogo entre el proyecto de utilaje, el ingeniero de métodos y el encargado de fabricación. En consecuencia se establece un método provisional que, intuitivamente y atendiendo a experiencias anteriores, se considera que es el mejor. Al poner en práctica este método, es frecuente observar anomalías que no fueron percibidas en el planteo inicial y que lleva a modificaciones en el método establecido que obliga a un nuevo aprendizaje del personal, cambios en el utilaje, etc. Por el contrario, la utilización de un sistema de tiempos predeterminados permite, en la fase inicial de concepción del nuevo método:

- a. Eliminar las anomalías básicas en los diferentes métodos propuestos (por ejemplo, eliminar cambios de mano, sustituir gestos *difíciles* por otros más fáciles, etc.).
- b. Prever métodos mejorados a partir de los inicialmente propuestos.
- c. Cifrar los diferentes métodos, pasando de las simples opiniones al examen objetivo del valor relativo de los mismos.

En resumen, la utilización de tiempos predeterminados permite establecer de antemano un método eficaz.

2. *Mejora de los métodos de trabajo existentes:*

Al examinar un determinado modo operatorio, gesto a gesto, y cuando el tiempo necesario para cada uno de ellos y el de todos los igualmente posibles se conoce de antemano, es difícil encontrar alguna actividad que no se pueda mejorar.

3. *Estimación previa de los tiempos de ejecución:*

Dado que las NTPD hacen posible la concreción del método a seguir en sus más pequeños detalles y la determinación de los tiempos necesarios, la estimación de los tiempos de ejecución en el caso de nuevas producciones deja de ser una operación imprecisa y sujeta a considerables correcciones posteriores para convertirse en un cálculo riguroso, de gran fiabilidad, que compensa con creces el tiempo que se le dedique.

4. 4) *Elección del diseño de productos:*

Hay muchos detalles en la forma de los productos que no son esenciales para la función que realizan y que, en cambio, tienen una influencia en la fabricabilidad o montabilidad y, por tanto, en el coste de la producción que puede ser importante. Un contacto con el diseñador y el experto en métodos es muy enriquecedor, pero todavía lo es más el conocimiento por parte de aquél de la metodología de tiempos predeterminados.

5. *Proyecto de utilaje y presupuestos:*

El proyectista de utilaje puede encontrar una ayuda eficaz en los sistemas de tiempos predeterminados si a los criterios para la selección de una determinada solución, basados en el diseño obtenido, duración del útil, coste, etc., se añade el de la facilidad de manejo por parte del usuario. El conocimiento profundo de los gestos que éste habrá de realizar en el manejo del útil permite estudiar la solución que haga óptimo el tiempo necesario para el manejo.

La industria de tamaño medio, sin embargo, encontró en las tablas desarrolladas por Maynard y su equipo americano una herramienta excesivamente compleja y potente para sus necesidades. Por ello, estas primeras tablas han dado lugar al que se ha denominado MTM-1, pero han surgido otras nuevas más simplificadas, que han dado lugar a los sistemas MTM-2 y MTM-3. Para hacerse una idea de la capacidad y dificultad de las diferentes tablas, digamos que se considera que analizar una hora de proceso real supone un empleo de 365 horas de estudio en MTM-1 y solamente de 150 a 180 en MTM-2.

Como ya ha sido comentado, la unidad de tiempo usada en MTM es el TMU (*Time Measurement Unit*), que corresponde a 1/100.000 de hora, lo que significa las siguientes equivalencias con otras unidades de tiempo.

- $1/100.000 h = 1 \text{ TMU}$
- $1 \text{ min} = 1.667 \text{ TMU}$
- $1 \text{ s} = 27,7 \text{ TMU}$
- $1/100 \text{ min} = 16,67 \text{ TMU}$
- $1/10.000 = 10 \text{ TMU}$

Recordemos que los valores de las tablas MTM corresponden a una actividad 11 % superior a la normal (exactamente 67 de la escala 60-80). Como regla práctica podemos utilizar:

$$\text{Tiempo normal (seg.)} = \frac{\text{Tiempo TMU}}{100} \times 4$$

11.13. Movimientos y tablas de tiempos MTM-2

El sistema MTM-2 —ampliamente utilizado por el grueso de las empresas— fue desarrollado a partir de 1965 para cubrir la aplicación de los sistemas de tiempos predeterminados en procesos para los que el sistema MTM-1 implicaba una complejidad excesiva. Su desarrollo corrió a cargo del Comité Internacional para la Investigación Aplicada, de acuerdo con las directrices del Directorio Internacional MTM. La Asociación sueca jugó un papel preponderante en el desarrollo del MTM-2.

La simplificación que comporta el sistema se debe, fundamentalmente, a la reducción de los movimientos básicos, por agrupaciones de algunos de ellos en uno solo, y a la eliminación de variantes por medio de simplificaciones estadísticas.

Basado en los sistemas MTM y compatible con los movimientos del MTM-1, se desarrolló para efectuar cualquier diseño o mejora de métodos de manera fácil y rápida de aprender. Utiliza una nomenclatura única para todas

las asociaciones del mundo, aplicable para cualquier sector de actividad y con resultados rápidos y fiables.

La elaboración del sistema se ha llevado a cabo de forma que deba elegirse entre un número reducido de alternativas y con pocas variables, de modo que suponga una tarea de observación sencilla y rápida.

Las simplificaciones estadísticas utilizan la teoría de las probabilidades para reducir el volumen de datos en las tablas sin una pérdida de precisión, por medio de promedios, combinaciones, sustituciones y eliminación de datos. Por ejemplo, un promedio entre los movimientos AP A y AP B ha dado lugar al movimiento único AP (aplicar presión) de MTM-2. Asimismo, sentarse (SIT) y levantarse (STD) se han fundido en un solo movimiento denominado *inclinarse y levantarse*, que supone aplicarlo al inclinarse y ya no aplicar tiempo alguno cuando llegue el momento de levantarse (ya se había incluido).

Por lo que se refiere a los movimientos básicos del MTM-2, se han generado a partir del MTM-1 y han dado lugar a las tablas MTM-2 que adjuntamos en la figura 11.14 (en la página siguiente).

TABLAS DE TIEMPOS PREDETERMINADOS MTM-2

Inicia	Abarca	Acaba	Clases	Distancias	Tiempos (TMU) [D: distancia]			
RECOGER (G): acercar las manos/dedos a un objeto, asirlo y, posteriormente, soltarlo								
Al acercar mano	Acciones de mano	Al soltar el objeto	GA/GB/GC	Hasta (cm) 5/15/30/45/80	GA_D: 3/6/9/13/17	GB_D: 7/10/14/18/23	GC_D: 14/19/23/27/32	
RECOGER PESO (GW): levantar un objeto de cierto peso, con los músculos de brazo y mano								
Asido el objeto	Fuerza muscular	Listo para mover	[Sigue a RECOGER]		Hasta 2 kg: 0	Más de 2 kg: 1 TMU/kg		
PONER (P): trasladar un objeto a su destino, con la mano								
Objeto asido	Movs. de traslado	Asido en destino	PA/PB/PC	Hasta (cm) 5/15/30/45/80	PA_D: 3/6/11/15/20	PB_D: 10/15/19/24/30	PC_D: 21/26/30/36/41	
PONER PESO (PW): complementa PONER a partir de cierto peso (más de 2 kg por mano)								
Inicio de traslado	+ tiempo a poner	Acabado traslado	Hasta kg: 5/10/15/20	[Sigue a PONER]	PW5: 1	PW10: 2	PW15: 3	PW20: 4
REASIR (R): acción de la mano para cambiar la manera de asir un objeto								
Objeto en mano	Reajuste muscular	Objeto en mano	No combinable con APlicar Presión		Valor único: 6 TMU			
APLICAR PRESIÓN (A): ejercer fuerza muscular sobre objeto para dominarlo o frenarlo								
Mano en objeto	Aplicar fuerza	Mano en objeto	Desplaz. máximo: 6 mm de tronco o extremidad		Valor único: 14 TMU			
EMPLEAR LOS OJOS (E): distinguir una característica de un objeto o desplazar el eje visual								
Paro acción ojos	Reajuste visión	Fin de visión	Enfoque visual: área de Ø=10 cm a 40 de ojos		Valor único: 7 TMU			
MOVER EL PIE (F): mover pierna o pie de forma limitada, sin pretender desplazar el cuerpo								
Pierna/pie en reposo	Mov.pierna<30cm	Final mover	Distinguir de dar paso que mueve el tronco		Valor único: 9 TMU			
DAR UN PASO (S): mover la pierna más de 30 cm o con finalidad de desplazar el cuerpo								
Pierna en descanso	Mov.pierna >30 cm	Pierna en otro lugar			Valor único: 18 TMU			
INCLINARSE Y LEVANTARSE (B): bajar y subir tronco. Alcanzar punto más bajo que rodillas								
Posición vertical	Mov.tronco abajo/subir	Posición vertical			Valor único: 61 TMU			
HACER GIRAR (C): desplazar un objeto con mano o dedo, con trayectoria circular > 180º								
Mano en objeto	Desplazar objeto	Mano en objeto	Abarca todos los movimientos circulares		Valor único: 15 TMU			

Figura 11.14. Tablas de los movimientos de acuerdo con el sistema MTM-2.

11.14. La mejora de métodos por medio de los sistemas de tiempos predeterminados

Los movimientos que componen las tablas de tiempos predeterminados son, como ya se ha hecho constar, eficaces herramientas para el diseño e implantación de procesos de producción y para el estudio y mejora de los métodos utilizados. Los *principios de la economía de movimientos*, ya expuestos en este capítulo, que rigen este estudio y mejora de métodos, constituyen una guía de gran interés para ser aplicada a los movimientos de los sistemas de NTPD, ya que permiten deducir las siguientes reglas aplicadas a dichos movimientos:

1. *Movimientos y sus recorridos:*

- 1.1. Reducir al mínimo el número de movimientos de una actividad.
- 1.2. Reducir al mínimo el recorrido total de cada movimiento.
- 1.3. Asegurar, si es posible, que las trayectorias sean continuas.
- 1.4. Proponer trayectorias cuya ejecución sea sencilla.

2. *Utilización de los músculos y distintas partes del cuerpo:*

- 2.1. Reducir al mínimo la complejidad de los movimientos.
- 2.2. Favorecer la utilización de movimientos fáciles y naturales
- 2.3. Minimizar el número de miembros del cuerpo que intervienen.
- 2.4. Reducir al mínimo el esfuerzo muscular necesario.
- 2.5. Minimizar los controles a efectuar con esfuerzo muscular.
- 2.6. Atribuir cada movimiento a la parte más adecuada del cuerpo.
- 2.7. Favorecer la utilización intermitente de músculos distintos.

3. *Utilización de la vista:*

- 3.1. Minimizar la cantidad de exámenes visuales necesarios.

- 3.2. Eliminar desplazamientos de la mirada evitables.
 - 3.3. Minimizar el tiempo de fijación de la vista en los controles.
4. *Movimientos simultáneos de los brazos:*
 - 4.1. Siempre que sea posible, tratar de que sean *simétricos*.
 - 4.2. En cualquier caso, favorecer que puedan ser en ángulo recto.
 - 4.3. Siempre que sea posible, tratar de que sean al menos en la *misma dirección* para ambos brazos.

Apéndice

UNA APROXIMACIÓN A LA PRODUCTIVIDAD Y COSTES DE LOS PROCESOS

Todo cuanto hemos expuesto acerca de la ingeniería de procesos está encaminada a obtener el mejor resultado posible. Al desplegar el diseño y desarrollo de procesos y su implantación, lo hemos realizado tratando de optimizar la productividad técnica minimizando el consumo de recursos y eliminando los desperdicios.

Los elementos para tener en cuenta y que inciden más directamente en los resultados de la producción son de carácter técnico y también económicos; estos elementos admiten, asimismo, su clasificación como **internos** (que dependen fundamentalmente de la planificación dentro de la propia empresa) y **externos** (dependen en grado elevado de circunstancias ajenas a la empresa relacionadas con el entorno de la misma). Bajo esta doble clasificación, los elementos más importantes serían los que se muestran en la figura A.1 en la página siguiente.

Además, los procesos de producción tienen lugar por medio de los «*factores de la producción*». *Recursos naturales, trabajo y bienes de capital (máquinas, equipamientos e instalaciones)*, serían los factores que resultarían de la clasificación más simple que pueda realizarse. En la práctica convendrá desglosar más o menos los factores que se consideren, de acuerdo con la finalidad del análisis que se esté llevando a cabo. Atendiendo a sus características, podemos clasificar

dichos factores en los tipos que se muestran en la figura A.2.

La existencia de factores *incontrolables* es un hecho real que hay que afrontar, dado que no pueden ignorarse. Sería el caso, por poner un ejemplo, de una avería en el sistema de suministro eléctrico. Sin embargo, vamos a centrar nuestra atención en aquellos factores que pueden ser *controlados* y los clasificaremos en *fijos* y *variables*, con un escalón intermedio de factores *paramétricos* (en principio fijos, que en determinadas circunstancias pueden cambiar; por ejemplo, el número de horas de trabajo por jornada en una determinada planta de producción es fijo, hasta que se decide modificarlo).

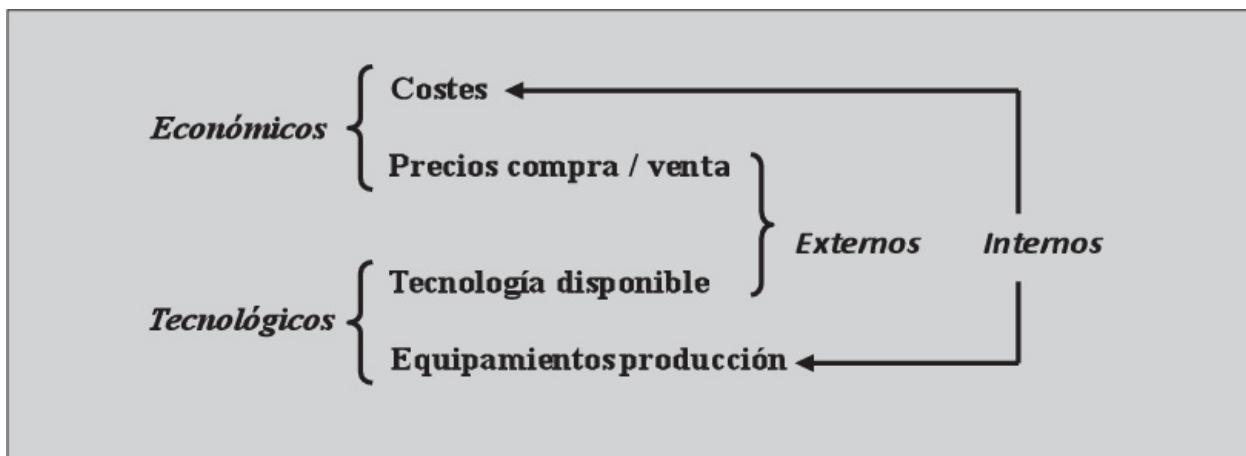


Figura A.1. Tipos de elementos de la producción

Los factores variables pueden clasificarse como *vinculados* a los que deben contribuir al producto.

Los factores *limitativos* son aquellos cuya contribución a la producción está vinculada a la cantidad de producto obtenido.

Los factores *sustituibles* son, por el contrario, aquellos cuya contribución admitida en la producción puede ser mayor o menor en función de la intervención de otros factores, de los que son sustitutos.

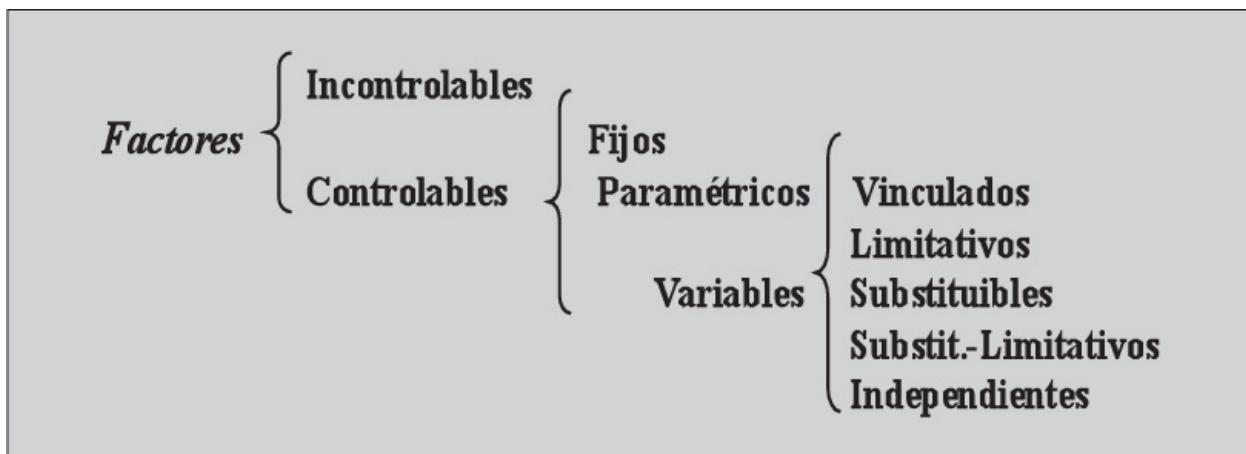


Figura A.2. Clasificación de los factores de la producción

Para poner un ejemplo de unos y otros, en un televisor, la pantalla de plasma es un factor limitativo (ha de haber uno por aparato necesariamente), ésta y el soporte en que se halla son vinculados, y finalmente los materiales que soportan el aparato pueden ser de distintos tipos, substitutivos unos de otros.

Asimismo, un factor puede ser *sustituible-limitativo* respecto de otro u otros, cuando puede substituirlos, pero solamente entre ciertos límites.

Finalmente, los factores *independientes* son aquellos que pueden contribuir a la producción sin ningún tipo de vinculación o sustituibilidad por otros ni, en general, condición alguna.

A.1. La Productividad. Clases y leyes que la rigen

La productividad ha constituido un aspecto relevante a lo largo de este libro, desde el ámbito de la ingeniería y de la gestión. Por productividad entendemos el *volumen de producción que puede obtenerse con una combinación de factores productivos* que, con frecuencia, están referidos a la *unidad de tiempo*.

Cuanto mayor sea la producción obtenida para la misma cantidad de factores, mayor será la *productividad*; así pues, la *productividad*, implica obtener una producción dada con el mínimo empleo de recursos productivos.

La *productividad de uno de los factores de la producción*, es la magnitud que interesa evaluar normalmente (por ejemplo, productividad de la mano de obra, una de las medidas más utilizadas).

Así pues, la productividad la referiremos a un factor productivo dado, por

lo que la variación de la misma se medirá en relación a cantidades distintas de dicho factor de la producción, pero **manteniendo constante** las cantidades aportadas por los demás factores productivos. Ello significará, dar a la productividad un carácter relativo, dado que dependiendo de que estas cantidades constantes de los demás factores sean mayores o menores, un factor productivo tendrá, en igualdad de cualquier otra circunstancia, una productividad mayor o menor (por ejemplo, un operario tendrá mayor productividad disponiendo de una máquina automática de grandes prestaciones, que con una máquina convencional simple).

El concepto de productividad, puede definirse de tres formas:

- a) *Productividad Total*: Producción por unidad de tiempo, que pueda obtenerse con diferentes niveles de un determinado factor productivo.
- b) *Productividad Media*: Promedio de la productividad total de cierto factor productivo, en relación con la cantidad empleada de dicho factor.
- c) *Productividad Marginal*: la cantidad de **producto adicional** que puede obtenerse con una contribución adicional del factor correspondiente, y referida a la unidad de dicha contribución. La productividad marginal será pues: $dP(a)/da$, es decir, la derivada de la productividad total, respecto a la cantidad de factor productivo.

El gráfico que de la figura A.3 ilustra cuanto acabamos de decir, y permite definir una **curva de productividad total** para cierto factor productivo.

Puede apreciarse en dicho gráfico, que la productividad marginal corta a la curva de productividad media en su máximo, que corresponde a la abscisa M. Ello es así pues mientras la productividad marginal está por encima de la media, una nueva unidad de factor aportada a la producción, hace incrementar la media, pero en el momento en que la productividad marginal pase a ser inferior a la media, cualquier nueva unidad hará decrecer la media. Luego la media pasa por un máximo cuando la productividad marginal pasa de ser superior a inferior a ella, cuando la corta.

En la figura puede apreciarse que la curva de productividad total para determinado factor productivo tiene en O_t el punto para el que se cumple la anterior igualdad ya que, en efecto, la productividad media, que es P_o/f_o y la

marginal, que es la pendiente de la tangente a la curva, coinciden con la pendiente de la recta trazada desde el origen hasta P_o . Este punto se llama óptimo técnico, dado que la productividad por unidad de factor (media) es la máxima.

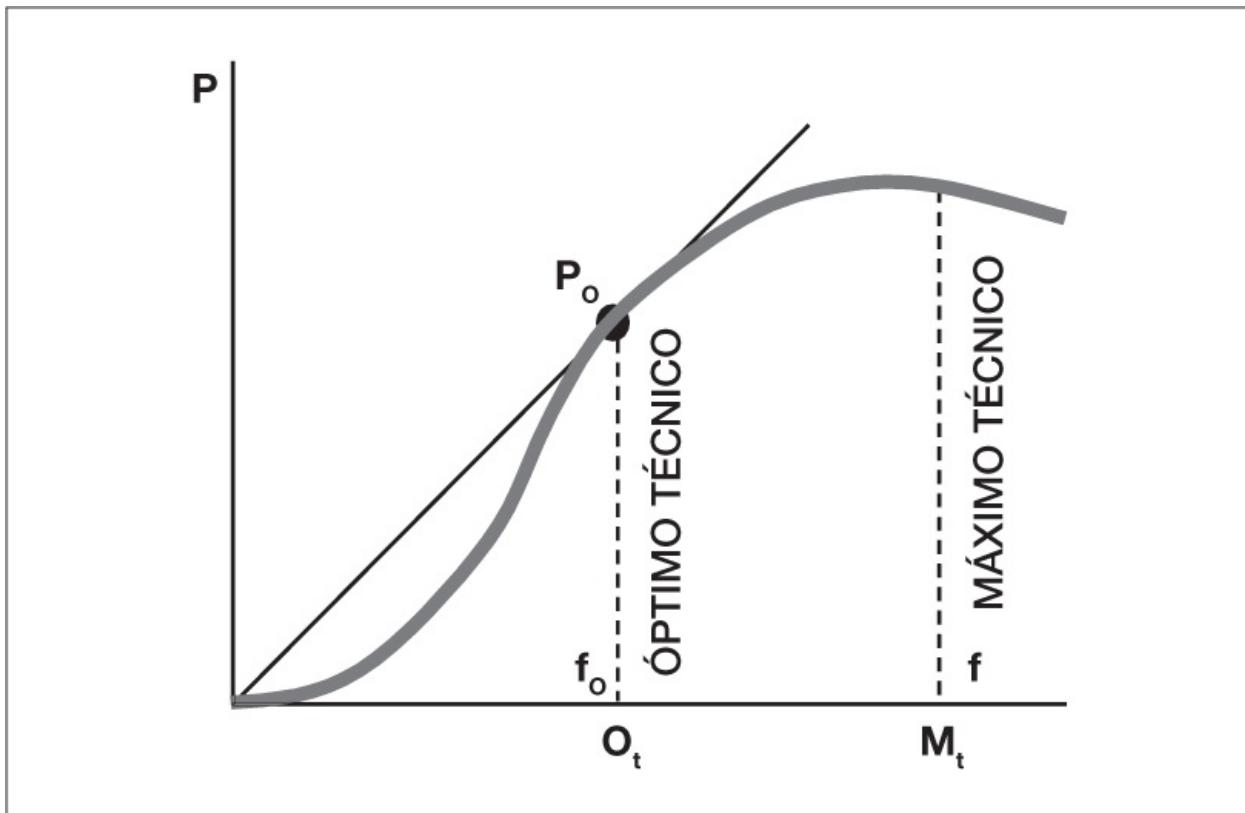


Figura.A.3. Óptimo y máximo técnicos

Por contra el **máximo técnico**, se dará para el punto M_t en el que la productividad total ya no crece más.

Por otra parte, puede observarse en la figura anterior que la curva de productividad total crece, pero cada vez con menor pendiente, o lo que es lo mismo que la productividad marginal —es decir el nuevo aumento de productividad que se dará a cada nuevo aumento de la cantidad de factor productivo— será decreciente. Ello sucederá así, en cualquier caso, por lo menos a partir de cierto valor de la cantidad de factor productivo aportada. Veamos a qué es debida esta ley conocida como la *«Ley de la productividad marginal decreciente»*.

Por definición, el concepto de productividad, mide de qué forma se incrementa el producto obtenido, cuando aumentamos las aportaciones de un

factor manteniendo fijas las aportaciones de los demás. Es evidente que, en esta situación, el producto no podrá crecer, por lo menos a partir de cierto punto, al ritmo que lo hagan las aportaciones del factor, mientras los demás permanecen a nivel constante. De no ser así, podríamos encontrarnos con paradojas como, por ejemplo, que con una estructura dada e incluso pequeña, una empresa pudiera tener producciones tan grandes como se quisiera, con solo aportar más mano de obra.

Así pues, la productividad marginal decrecerá a partir de cierto punto, e incluso puede hacerse negativa. Podría suceder que nuevas unidades de un factor no solo no aportaran nada a la producción, sino incluso «estorbaran», por problemas de espacio u otros. En tal caso, la curva de productividad total pasará por un máximo (que hemos denominado máximo técnico), en el punto en que la productividad marginal se haga nula.

¿Dónde podríamos situar pues, el óptimo de la aportación de un factor productivo con una cierta curva de productividad $P(a)$? En principio, deberíamos buscar la máxima productividad y para ello evaluar económicamente la misma (podría hacerse por el valor del ingreso $I(Q)$ procedente de la venta del producto obtenido). Además, dicho factor productivo tendrá un coste $C(a)$, por lo que podremos evaluar el «beneficio» o diferencia entre el ingreso (representado por la productividad) y su costo y maximizarlo. Su valor será:

$$B = I(Q) - C(a)$$

Para maximizarlo derivaremos e igualaremos a cero la derivada:

$$dB/da = F'(a) - C'(a) = 0, \text{ por lo que tendremos: } F'(a) = C'(a)$$

Y como $F'(a)$ es a todos los efectos una productividad marginal, *en el óptimo, la productividad marginal deberá ser igual al coste marginal* (entendiendo por tal el aumento que sufre a cada aumento de a , tal y como se definió para la productividad).

A.2. Medición de la productividad y su mejora

Es muy importante mejorar y aún optimizar la productividad de todos y cada uno de los factores que participan en la producción de dicha empresa. Entre tales factores pueden existir algunos que no son propiamente del ámbito interno de la empresa, y esto es muy importante tenerlo en cuenta.

La organización y la racionalización de los procesos nos llevará a esta optimización de la productividad a la que no es ajena la clase y calidad de factores productivos utilizados.

Dentro de la mencionada racionalización y, en especial, en lo referente a la utilización de factores productivos, es importante tener en cuenta el «equilibrio de participación» de los mismos, es decir las cantidades relativas utilizadas de cada uno. El óptimo económico se basa en combinar adecuadamente tales cantidades, y en lo que a los aspectos prácticos hace referencia, creemos que es de la mayor importancia el equilibrio: bienes de capital / mano de obra y la correcta cualificación de esta.

La medición de la productividad puede encontrarse con problemas derivados de medir la producción lograda, en especial si la misma está constituida por varios productos y éstos no son homogéneos. Es evidente que, en tal caso, difícilmente podemos agregar las producciones parciales para obtener la total. Habrá que recurrir a convenios de cálculo, como por ejemplo utilizar los precios de los diferentes productos para obtener la producción agregada. El mismo problema puede presentarse con los factores productivos empleados, ya que pueden ser tan diferentes como lo son (a efectos de medir su «valor» agregado), el trabajo y los bienes de capital.

Para tratar de medir la productividad y su mejora, utilizaremos el convenio de hacerlo por medio de los precios, mediante índices que nos midan el «valor» del producto total sumando, para todas las variantes de productos, la cantidad de cada uno (q) multiplicada por su precio (p), es decir: $\Sigma p \cdot q$.

Si se divide esta suma por la obtenida en otro momento (diferenciaremos los momentos expresando el primero con el subíndice o), podremos tener una medida de la mejora de la productividad entre estos dos momentos. En tal caso la mejora de la productividad la evaluaríamos mediante el cociente:

$$\frac{\Sigma p \cdot q}{\Sigma p_o \cdot q_o}$$

Para mediciones de la mejora en la *productividad media* se aplicarían los mismos índices a los factores productivos (f) —sujetos a los mismos problemas de medición— y su coste (c) y utilizaríamos el cociente de la suma de sus productos en momentos distintos, como denominador de la anterior expresión:

$$\frac{\frac{\sum p \cdot q}{\sum p_o \cdot q_o}}{\frac{\sum c \cdot f}{\sum c_o \cdot f_o}}$$

A.3. El coste de la producción y sus procesos

De una forma general, podemos establecer que el coste responde al concepto de «*pago o cesión de un valor con la finalidad de lograr otro que se considera superior o más conveniente*». En particular, el pago o cesión será para los factores que directa o indirectamente intervienen en la producción.

Ante todo, vamos a considerar tres términos, que se utilizan en la empresa y que de acuerdo con la definición anterior encajan en el concepto de coste:

- 1) *Coste* (propiamente dicho): se refiere al consumo de los factores productivos que se precisan en una determinada producción, para que pueda llevarse a cabo.
- 2) *Gasto*: suele referirse a aquellos costes soportados para lograr que la empresa tenga una estructura organizativa que permita llevar a cabo la producción y la colocación de esta en el mercado (venta). No suele utilizarse este concepto para referirse a los costes de la producción en sí.
- 3) *Cargas*: se trata de conceptos de coste que pueden ser del tipo de los dos anteriores (aunque normalmente serán del tipo «gasto»), que no son objeto de un pago o cesión directa o tangible, y ello los hace difíciles de evaluar. Es el caso de cantidades añadidas al coste del

producto a cuenta del mayor o menor deterioro de los equipos de producción (que se denominan amortizaciones); descuentos efectuados en el precio de venta del producto obtenido, que por tanto tienen el mismo efecto de un coste adicional; impuestos que tendrán lugar más adelante debidos al menos indirectamente a la producción, etc.

Por otra parte, los costes, sean del tipo que sean, pueden clasificarse en dos grandes grupos:

- a) *Fijos*: los que permanecen invariables independientemente de que se produzca o no o del nivel de producción que exista, lo que significa que no derivan (al menos directamente) de la propia producción.
- b) *Variables*: contrariamente a los anteriores, variarán según el nivel de producción que tenga lugar y normalmente estarán directamente vinculados con la misma.

Relacionada con esta clasificación, puede hacerse esta otra en cuanto a grupos importantes de coste se refiere:

- a) *Indirectos*: costes que no guardan relación con la producción y su nivel.
- b) *Directos*: costes generados por la propia producción.

En principio, puede asociarse la idea de coste fijo a la de indirecto, en el sentido de que ambos se refieren a los costes que tienen que afrontarse por una cuantía que no guarda relación con la producción y tienen lugar aún en el caso de que no se desarrolle la misma.

Igualmente, puede asociarse la idea de coste variable a la de directo, ya que ambos se refieren a aquellos costes generados por la propia producción y por una cuantía que guardará lógica relación con el volumen producido.

Sin embargo, existen distinciones entre ambas clasificaciones de coste. Así, por ejemplo, a muy largo plazo, todos los costes pueden considerarse variables (ya que los fijos que hay que afrontar, a un plazo largo, siempre pueden eliminarse). Por el contrario, a muy corto plazo, todos pueden considerarse

fijos, ya que difícilmente podremos obviar ninguno de ellos. En cambio, el plazo de tiempo considerado no afecta en absoluto al hecho de que determinados costes sean directos o indirectos. Además, entre estas dos últimas categorías, puede intercalarse aún el de costes «semidirectos»: son aquellos que solo se producen en función de que exista una parte determinada de la producción, pero no se alteran al hacerlo el resto de la misma; es el caso de costes asociados solamente a ciertos modelos del producto obtenido (materiales o dispositivos que solo se incorporan a los mismos u operaciones de producción específicas para ellos).

Al evaluar el coste, podemos referirnos desde el nivel mínimo, definido por el coste directo y constituido por los materiales y el trabajo precisos para llevar a cabo la producción (*direct costing*), hasta el mayor de ellos, el coste total o completo, que incluye todas las posibles partidas de coste (*full costing*).

Por tanto, existen diferentes valoraciones del coste y distintas situaciones para las que pueden ser aplicadas. Por ejemplo, en una empresa con una producción compuesta de múltiples productos, puede resultar de interés calcular exclusivamente para cada uno, el *direct costing* con el fin de conocer el margen de beneficio que aporta la producción de cada uno, aunque sea un coste bruto, es decir, que no lleva deducidos todos los gastos; a fin de incluir todas las partidas de coste, podemos entonces deducir posteriormente, el conjunto de los gastos no contabilizados, del total de margen aportado por todos los productos a la vez. Este procedimiento de evaluación del coste, ha dado lugar a lo que se denomina sistema del *direct costing*.

A.4. Tipología y características de los conceptos de coste de los procesos productivos

Veamos ahora, de forma resumida, los conceptos que incluyen cada uno de los tipos de coste a que está sometido el conjunto de los procesos de la actividad productiva de la empresa, así como los aspectos a destacar en cada uno:

a) Costes variables:

- Materiales o productos que forman parte del producto final a

obtener. Conviene, siempre que sea posible, establecer un coste estándar para ellos. Es importante evaluar para cada componente, la relación entre la cantidad inicialmente necesaria y la que aparece en el producto final.

- Mano de obra directa:
Deberá incluir las cargas sociales y en caso de evaluarse un coste estándar, se referirá a un proceso tipo.
- Energía:
En este caso, de calcularse un coste estándar, se referirá a un nivel de capacidad instalada y a un proceso tipo.
- Gastos generales de producción. Es importante que incluyan el coste de funcionamiento de las máquinas, los gastos de aprovisionamiento y la mano de obra indirecta (calidad, mantenimiento, etc.), así como los transportes y los productos rechazados por incumplir las especificaciones de calidad.

b) Costes fijos de producción. Pueden clasificarse en:

- Costes fijos de cada producto.
- Costes fijos propios de dos o más productos, es decir dos o más productos que soportan un coste fijo que afecta necesariamente a ambos y no puede pues, imputarse a uno de ellos, ya que no desaparecería de no existir uno de tales productos.
- Costes fijos propios de todos los productos que componen la actividad productiva de la empresa.
- Costes fijos adscritos a una sección productiva o de soporte a la producción de la empresa, tales como la retribución del personal técnico y supervisor de la misma y otros de carácter indirecto, las cargas sociales correspondientes a los mismos, los servicios precisos para su funcionamiento (electricidad, agua, etc.), los gastos de mantenimiento y reparaciones propios de la sección y las amortizaciones correspondientes al equipamiento de la sección

c) Costes fijos de estructura:

Se incluirá aquí, la fracción de los gastos que siguen que no hayan sido incluidos ya en partidas de coste anteriores (administrativos, financieros,

comerciales, etc.).

Finalmente, existen partidas de gastos difíciles en cuanto a la medición de su rendimiento se refiere. Tal es el caso de la publicidad, que tiene un coste y sus efectos no son fáciles de medir. Aun así, será conveniente encontrar un procedimiento de evaluación de su rendimiento (como por ejemplo, por medio del aumento de la demanda y por tanto, con los ingresos y beneficios consiguientes).

BIBLIOGRAFÍA

- Baudin, M., «Working with machines», *Productivity Press*, 2007.
- Boutros, T., Pourdie, T., *The Process Improvement Handbook*, McGraw Hill, 2015.
- Brown S., Blackmon K., Cousions P., Maylor H., *Operations Management*, Butterworth Heineman, 2001.
- Cuatrecasas L., *Organización de la producción y dirección de operaciones*, Díaz de Santos, 2011.
- , *Diseño avanzado de procesos y plantas de producción flexible*, Profit Editorial, 2013.
- , *Lean Management. La gestión competitiva por excelencia*, Profit Editorial, 2015.
- Dennis, P., *Getting the right things done*, Lean Enterprise Institute, 2006.
- Goldratt, E. M., *La Meta*, Díaz de Santos, 1993.
- Equipo de desarrollo de Productivity, «Fabricación celular», TGP - *Productivity Press*, 2003.
- Harmon, R. L., Peterson, L. D., *Reinventar la fábrica*, Ediciones CDN, 1990.
- Heizer J., Render B., *Dirección de la producción*, Prentice Hall, 2005.
- Heredia, J. A., *La gestión de la fábrica*, Díaz de Santos, 2004.
- Kiyoshi, S., *Competitividad en fabricación*, Fundación Confemetal, 2010.
- , «New Shop Floor Management», *Free Press*, 22 de septiembre de 2010.
- Liker, J. K., *Las claves del éxito de Toyota*, Gestión 2000, 2006.
- Hyer, N., Wemmerlöv, U., «Reorganizing the factory», *Productivity Press*, 2002.
- Narusawa T., Shook J., *Kaizen Express*, The Lean Enterprise Institute, 2009.
- Ohno, T., «El sistema de producción de Toyota: más allá de la producción a gran escala», *Productivity Press*, 1993.
- , *Workplace Management*, Gemba Press, 2007.
- Ortiz, C.A., «The Cell Manufacturing Playbook», *Productivity Press*, 2016.
- Rey Sacristan, F., *En busca de la eficacia del sistema de producción*, Fundación Confemetal, 2003.
- Sekine, K., *Diseño de células de fabricación*, Taylor & Francis, 2005.
- Shingo, S., *El sistema de producción de Toyota desde el punto de vista de la ingeniería*, TGP - *Productivity Press*, 1990.
- Womack J., Jones, D., *Lean Thinking*, Gestión 2000, 2005.
- Womack, J., *Gemba walks*, Lean Enterprise Institute, 2013.
- Womack J., Jones D., Roos D., *La máquina que cambió el mundo*, Profit Editorial, 2017.
- Yasuhiro Monden, *El sistema de producción de Toyota*, Springer Science & Business Media, 2012.