



UNIVERSIDAD DE SALAMANCA  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE  
INGENIERÍA INDUSTRIAL

Avda. Fernando Ballesteros,2  
37700 BÉJAR  
Fax 923 40 81 27 Telf. 923 40 80 80

ÁREA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

# TECNOLOGÍA DE PRODUCCIÓN Y FABRICACIÓN

ASIGNATURA OBLIGATORIA DE  
4º CURSO DEL GRADO EN  
INGENIERÍA ELÉCTRICA

APUNTES Y MATERIALES PARA SEGUIR LA ASIGNATURA

Prof. Norberto Redondo Melchor  
Ingeniero Industrial  
Doctor por la Universidad de Salamanca



## ÍNDICE

### **I. PRODUCCIÓN INDUSTRIAL**

#### **1 Evolución de los sistemas de producción**

#### **2 Procesos de producción**

- 2.1 Representación analítica y mediante diagramas
- 2.2 Tipos de producción según el producto y el proceso

#### **3 Distribución espacial**

- 3.1 Distribución funcional por talleres
- 3.2 Disposición orientada al producto o en flujo
- 3.3 Disposiciones derivadas

### **II. PRINCIPALES PROCESOS DE FABRICACIÓN**

#### **1 Procedimientos básicos de formación de piezas**

##### 1.1 Moldeo en fase fluida y sólida

- 1.1.1 Extrusión
- 1.1.2 Inyección de plásticos
- 1.1.3 Inyección de elastómeros
- 1.1.4 Moldeo por soplado
- 1.1.5 Sobremoldeo
- 1.1.6 Espumas
- 1.1.7 Moldeo por vacío
- 1.1.8 Flotación
- 1.1.9 Laminado
- 1.1.10 Sinterizado

##### 1.2 Deformación plástica

- 1.2.1 Prensado
- 1.2.2 Calandrado
- 1.2.3 Forjado
- 1.2.4 Estirado y recalado
- 1.2.5 Estampado
- 1.2.6 Plegado
- 1.2.7 Embutición
- 1.2.8 Cizallado
- 1.2.9 Troquelado
- 1.2.10 Repulsado

##### 1.3 Mecanizado por arranque de material

- 1.3.1 Torneado
- 1.3.2 Fresado
- 1.3.3 Taladrado
- 1.3.4 Otras operaciones habituales



- 1.4 Mecanizado no convencional
  - 1.4.1 Electroerosión EDM
  - 1.4.2 Grabado y corte por láser
  - 1.4.3 Haz de electrones
  - 1.4.4 Plasma

## **2 Tratamiento superficial**

- 2.1 Acabados
- 2.2 Recubrimientos
  - 2.2.1 Pintado
  - 2.2.2 Electrodeposición
  - 2.2.3 Recubrimiento por lecho fluidificado
  - 2.2.4 Impresión

## **3 Procesado mediante máquinas de control numérico**

- 3.1 CNC (*Computer Numerical Control*)
- 3.2 *Geometric Code*
  - 3.2.1 Estructura básica de un archivo G-code
  - 3.2.2 Los comandos G-code más comunes

## **4 Montaje**

- 4.1 Uniones permanentes
  - 4.1.1 Adhesivos
  - 4.1.2 Termofusión
  - 4.1.3 Soldadura
- 4.2 Uniones desmontables
  - 4.2.1 Remaches
  - 4.2.2 Encaje a presión
  - 4.2.3 Otras uniones desmontables

## **5 Metrotecnia básica**

- 5.1 Definiciones usuales
- 5.2 Sistema Internacional de unidades (SI)
- 5.3 Medidas

# **III. FABRICACIÓN DE TRANSFORMADORES**

## **1 Teoría general de los transformadores**

- 1.1 Conceptos básicos
- 1.2 Pérdidas de los transformadores
- 1.3 Modelo eléctrico del transformador y ensayos de vacío y cortocircuito
- 1.4 Transformadores trifásicos
- 1.5 Conexiones entre devanados
- 1.6 Placa de características

## **2 Diseño de transformadores**

- 2.1 Partes de un transformador trifásico
- 2.2 Requisitos de diseño
- 2.3 Diseño del núcleo



- 2.4 Diseño de los bobinados
- 2.5 Conexiones entre bobinados y cambiadores de tomas
- 2.6 Pérdidas
- 2.7 Diseño de la cuba
- 2.8 Diseño de la refrigeración
- 2.9 Diseño de la tapa
- 2.10 Características finales aproximadas
- 2.11 Accesorios

### **3 Laboratorio y ensayos**

- 3.1 Resistencia de los devanados
- 3.2 Ensayo en vacío
- 3.3 Ensayo en cortocircuito

## **IV. FABRICACIÓN DE CUADROS ELÉCTRICOS**

### **1 Funciones y componentes de los cuadros eléctricos**

- 1.1 Aparata de protección
  - 1.1.1 Contra sobreintensidades
  - 1.1.2 Contra defectos a tierra
  - 1.1.3 Contra sobretensiones
  - 1.1.4 Diseño de protecciones eléctricas

### **2 Esquemas unifilares y esquemas desarrollados**

- 2.1 Esquemas unifilares de cuadros de protecciones
  - 2.1.1 Simbología habitual
  - 2.1.2 Criterios de diseño
  - 2.1.3 Diseño de cuadros de protecciones
  - 2.1.4 Ejemplo de diseño
- 2.2 Esquemas desarrollados
  - 2.2.1 Simbología habitual de potencia
  - 2.2.2 Simbología habitual de automatismos y control
  - 2.2.3 Reglas de dibujo
  - 2.2.4 Reglas de referenciado de aparatos
  - 2.2.5 Referenciado de los borneros
  - 2.2.6 Cableado

### **3 Diseño de armarios eléctricos**

- 3.1 Condiciones generales
- 3.2 Diseño de embarrados
  - 3.2.1 Densidad de corriente
  - 3.2.2 Esfuerzos electromecánicos
- 3.3 Cableado interno
- 3.4 Buenas prácticas

### **4 Uso de aplicaciones de terceros**

- 4.1 HagerCAD.project de HAGER
- 4.2 XL Pro3 de LEGRAND



Fuentes de las imágenes y referencias utilizadas cuyo origen no se identifica con detalle en el texto:

- [BHL] BHARAT HEAVY ELECTRICALS LIMITED, *Transformers 2ª ed*, McGraw Hill, Nueva Deli 2003.
- [CHP] CHAPMAN, STEPHEN J., *Máquinas eléctricas 2ª ed.*, McGraw Hill, Colombia 1998.
- [COR] CORRALES MARTÍN, JUAN, *Teoría, cálculo y construcción de transformadores*, Editorial Labor S.A., Barcelona 1969.
- [FMX] FARAMAX TRAF0 S.A., fabricante de transformadores de gran potencia y reactancias controladas, Malpartida de Plasencia (Cáceres - España).
- [GED] TRANSFORMADORES GEDELSA S.A., fabricante de transformadores de distribución y mediana potencia, Salamanca (España).
- [JFM] FRAILE MORA, JESÚS, *Máquinas eléctricas 5ª ed.*, McGraw Hill, Madrid 2003.
- [KOS] KOSTENKO, M. y PIOTROVSKI, L., *Máquinas eléctricas vol.1*, Montaner y Simón S.A., Barcelona 1968.
- [MOE] MOELLER, F., KÜBLER, E. y WERR, TH., *Electrotecnia general y aplicada. Máquinas de corriente continua. Máquinas de corriente alterna (incluso transformadores)*, Editorial labor S.A., Barcelona 1961.
- [YAN] Yangli Ou y otros, *Research on axial dynamic process of power transformer windings under short-circuit shock*, *Frontiers in Energy Research*, vol. 13, 17 julio 2025, <https://doi.org/10.3389/fenrg.2025.1623160>
- [WKP] WIKIPEDIA, accesible desde Internet.

[ ] Si no se indica nada, son de elaboración propia.

# I. PRODUCCIÓN INDUSTRIAL

## 1 EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

La producción es una actividad económica de la empresa, cuyo objetivo es la obtención de uno o más productos o servicios, para satisfacer las necesidades de los consumidores, es decir, a quienes pueda interesar la adquisición de dicho bien o servicio.

La actividad de 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 habitual referirse a las operaciones como a la actividad propia de la producción.

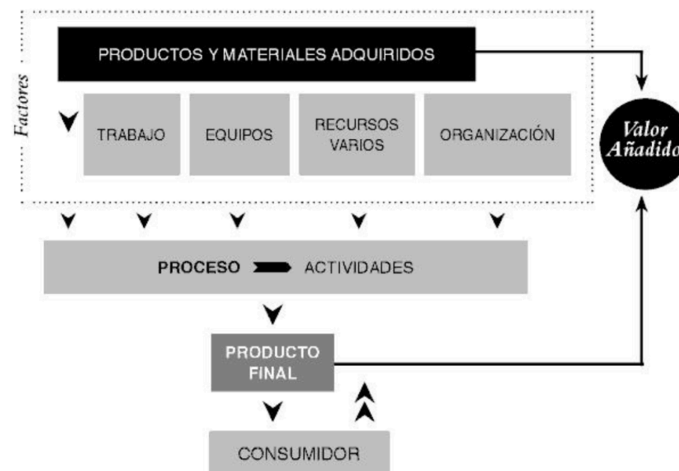


Fig. 1 Elementos de un sistema productivo

Los elementos que componen un sistema productivo, como puede apreciarse en la Fig. 1, son:

- Un conjunto de medios humanos y materiales que constituyen los llamados *factores de la producción*, integrados por los materiales y productos (adquiridos ya elaborados) a partir de los que se llevará a cabo la actividad de producción y los elementos que se utilizarán en la misma (trabajadores, equipamientos y otros recursos) y, desde luego, la necesaria organización.
- 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 cuales nos hemos referido anteriormente, junto a otras actividades complementarias, que en realidad servirán para “preparar” las operaciones.

La producción de cualquier bien o servicio se halla normalmente vinculada a la producción de otros, a través de la llamada cadena de valor (Fig. 2). En ella, cada producto es el resultado de unos materiales, unos factores y un proceso, tal y como hemos expuesto, pero de forma que el producto resultante de un proceso es un input o factor del proceso

de otro; así por ejemplo, un fabricante puede obtener como producto final un pequeño motor eléctrico, y éste ser un componente inicial para la fabricación de un electrodoméstico. En cada etapa de la cadena de valor, se genera un nuevo valor añadido al producto, de forma que el valor final de una etapa forma parte del inicial de la siguiente. Como se observa en la Fig. 2, los procesos que integran la cadena de valor, no sólo serán los de manufactura, sino también los de comercialización, distribución y servicios.

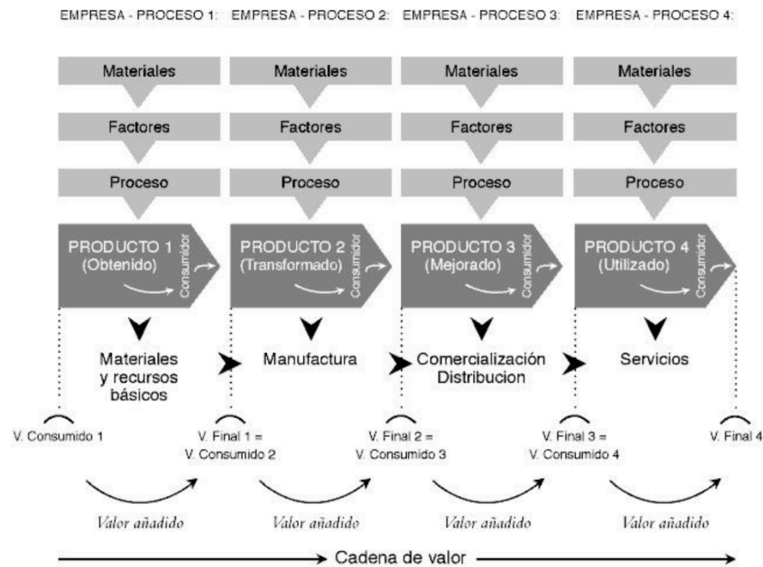


Fig. 2 La cadena de valor y procesos que la integran

Hasta el nacimiento de la organización de la producción como ciencia, a principios del siglo XX, los aspectos económicos y de organización no tenían relevancia alguna. Desde entonces y con la utilización del método científico, la producción ha evolucionado con resultados espectaculares, y se han introducido métodos científicos de trabajo, nuevas formas de gestión y formación, y de retribución de los recursos humanos.

Se atribuye a FREDERICK WINSLOW TAYLOR (1856- 1915) la llamada *dirección científica* y el desarrollo de métodos científicos de trabajo. Es considerado como el padre de los sistemas formalizados de organización y gestión de la producción, a través de sus trabajos en la MIDVALE STEEL y la BETHLEHEM STEEL, y por medio de la ASOCIACIÓN DE INGENIEROS MECÁNICOS DE AMÉRICA (ASME). En 1911 apareció su obra más relevante, *Principios y Métodos de Dirección Científica*.

Esquemmatizando, los principios básicos de la dirección científica eran:

- Estructura organizativa de la empresa: funcional.
- Método: científico.
- Trabajo: división del trabajo, especialización.
- Control: análisis de tiempos e incentivos.
- Organización y responsabilidad: dirección profesionalizada.

A nivel de la implantación en la gran industria, el punto de arranque lo hallamos en HENRY FORD, que desarrolló la fabricación en cadena de automóviles (con el *Ford T* en 1913). Sus principios básicos podrían ser estos:



- Introducción de máquinas para la ejecución de tareas elementales.
- Introducción de las cadenas de producción.
- Sincronización de los enlaces entre procesos, para reducir esperas y almacenamiento intermedio innecesarios.
- Calidad del entorno del trabajador: formación, retribución y motivación del personal.

Después vino la corriente psicológica, que se ocupó de los aspectos humanos del trabajo. Su primer exponente fue Elton Mayo (década de 1930), que se dedicó a estudiar la influencia del comportamiento humano en la productividad de las empresas y los incentivos para los trabajadores.

Las corrientes que se han sucedido en la segunda parte del siglo XX están condicionadas por los avances científicos (matemática, estadística, investigación operativa y teoría de sistemas), tecnológicos (electrónica, automatización, servosistemas, informática, cibernética) y en el área de la gestión (administración, dirección, *management*, psicología). Asimismo, han influido en la evolución de las últimas décadas los cambios operados en la estructura económica de las sociedades y los habidos en los mercados.

Las necesidades del sXXI obligan a continuar en el desarrollo científico de la organización de la producción para dar respuesta a los nuevos retos:

- Obtención de grandes cantidades de producto, reduciendo así los costes por medio de las economías de escala de la producción industrial masiva.
- Implantar sistemas que aseguren la calidad con el mínimo empleo de recursos, como el Sistema de Producción de Toyota (TPS) apoyado en los conceptos de *Jidoka* y producción *Just in Time* (JIT). Actualmente se prefiere denominarlo *Lean Production* o *Lean Manufacturing* (producción / fabricación ajustada).

## 2 PROCESOS DE PRODUCCIÓN

### 2.1 Representación analítica y mediante diagramas

#### REPRESENTACIÓN ANALÍTICA

Cualquier proceso puede representarse, descompuesto en sus actividades, de forma analítica, a partir de un cuadro de doble entrada con actividades en filas y los campos de información en columnas.

La Fig. 3 muestra una representación de este tipo para el proceso ejemplo de producción industrial de molinillos de café, con las actividades que componen la fase de ensamblaje del molinillo, efectuada en puestos fijos y especializados e independientes (propios de las organizaciones tradicionales).

En la tabla 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.

Por 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)		Método
				Persona	Máquina	
	Insertar motor en carcasa base	Carcasa, motor, silentbloqs y tornillería	1	90	90	Ubillaje
	Insertar tarjeta con circuito impreso	Tarjeta electrónica y clips sujeción	1	45	---	Manual
	Insertar cableado y realizar conexión	Cables, interruptor, juntas y conectores	3	25	---	Manual
Loje producción: 1000 Uds./día	Montar carcasa externa y tapa	Carcasa, juntas, tapa y tornillería	1	10	30	Automático
<b>Tiempo total segundos (incl. frecuencia) »</b>				<b>220</b>	<b>120</b>	

Fig. 3 Representación analítica de un proceso de fabricación.

La descripción analítica puede incluir más información, como lo que se tarda en llevar una pieza de una máquina a otra, acopiarla al pie de una máquina, depositarla en espera del control de calidad, etc.

#### REPRESENTACIÓN MEDIANTE DIAGRAMAS

La representación de los procesos por medio de diagramas permite, además de la descomposición en sus actividades, visualizar el flujo de actividades a lo largo del proceso productivo, para analizar mejor la secuencia de actividades y hacerla más eficiente.

Los símbolos más utilizados son los que favorece la Organización Internacional del Trabajo (OIT, en inglés *ILO International Labor Organization*) y que se muestran en la Fig. 4.

Gráficamente se pueden mostrar secuencias de actividades que implican el flujo que se sigue en un proceso. Se pueden emplear tablas descriptivas (Fig. 5) o también croquis simplificados o incluso planos a escala del sitio donde tienen lugar (Fig. 6).

Actividad	Ejemplo		
OPERACION ○	Clavar	Agujerear	Mecanografiar
TRANSPORTE ➡	Por carro	Por aparejo	A mano
INSPECCION □	Control de cantidad y/o de calidad	Lectura de indicador	Lectura de un documento
ESPERA D	Material en espera de ser procesado	Trabajador en espera de ascensor	Documentos en espera de clasificación
Almacenamiento ▽	Almacenamiento a granel	Depósito de productos terminados	Archivo

Fig. 4 Símbolos de la OIT para representar procesos. R. M. BARNES, *Motion and time study*, Nueva York 1980.

Descripción	Cantidad	Tiempo (min)	Distancia (metros)	Símbolo					
				○	□	◐	➡	▽	
Recepción de la materia prima	100 kg	10,5		●					
Inspección de documentación y de la materia prima		5		●	●				
Introducción de la información de recepción en el sistema informático		2		●					
Transporte al almacén de materia prima		12,2	10				●		
Almacenamiento de la materia prima		6						●	
Preparación de la composición de materiales para la orden de fabricación	75 kg	25		●					
Transporte de los materiales para la orden de fabricación		5,3	4,5				●		
Espera de la fabricación de la orden en la línea de producción		180					●		
Montaje del producto final de la orden de fabricación		75		●					
Embalaje del producto final		64		●					
Transporte del producto final al muelle de carga para expedición		9,6	8					●	

Fig. 5 Actividades de un proceso con valiosa información sobre tiempos y distancias.

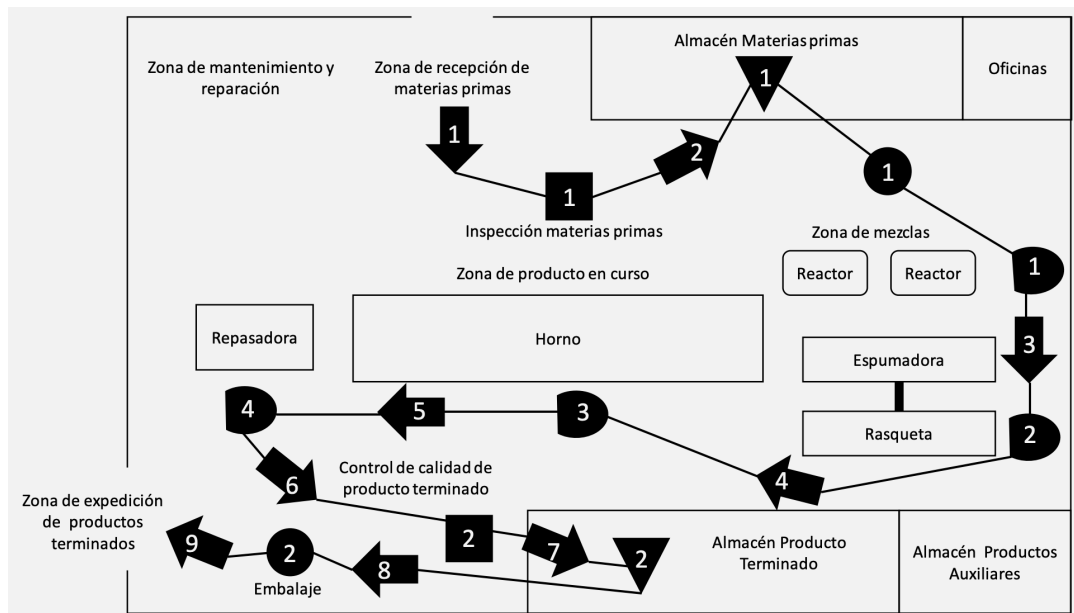


Fig. 6 Flujo de actividades de un proceso sobre un croquis del recinto donde tienen lugar.

## 2.2 Tipos de producción según el producto y el proceso

La variedad de productos y procesos sugiere que determinados productos son adecuados para que su producción se lleve a cabo mediante determinados tipos de proceso, resultando de ello determinados tipos de producción. La matriz producto-proceso (Fig. 7) permite ver las combinaciones.

Cuando HAYES y WHEELWRIGHT propusieron en 1979 esta matriz, los tipos de producción situados en la diagonal parecieron las combinaciones más adecuadas, y los cuatro tipos de proceso idóneos se ajustaban al mismo patrón. Modernamente se sugieren otras posiciones, fuera de la diagonal, que implican ciertas ventajas no desdeñables. Básicamente, sin embargo, las alternativas de la diagonal son una variación gradual entre la producción por lotes y la producción en flujo continuo. Veamos sus características esenciales.

### PRODUCCIÓN FUNCIONAL EN LOTES

En la parte superior izquierda está la configuración productiva funcional a medida, orientada al proceso, también llamada por talleres o *job shop*.

- Producción: lotes pequeños de una amplia variedad de productos de poca o nula estandarización. Son hechos a medida o con muchas variantes, en operaciones personalizadas.
- Recursos necesarios: equipos de escasa especialización, agrupados en talleres o centros de trabajo a partir de la función que desarrollan (orientación al proceso).
- Competitividad: puede alcanzarse una amplia variedad de resultados, flexibles e innovadores.

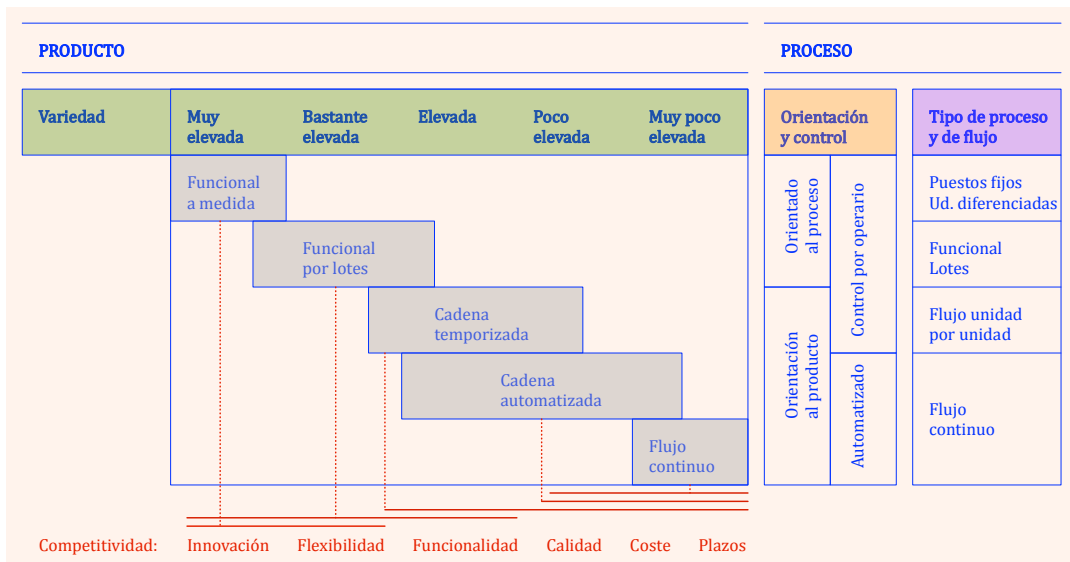


Fig. 7 Matriz producto-proceso

### PRODUCCIÓN EN FLUJO O CADENA

En el otro extremo de la diagonal, abajo a la derecha de la matriz producto-proceso (Fig. 7) está la producción funcional en flujo continuo, orientada al producto, basada en cadenas de fabricación o *flow shop*.

- Producción: grandes cantidades de pocos productos, elevadamente estandarizados o con pocas variaciones entre ellos, en operaciones altamente normalizadas.
- Recursos necesarios: máquinas complejas, muy especializadas y automatizadas, dispuestas en cadenas que respetan al máximo posible el flujo de fabricación (orientación al producto).
- Competitividad: son métodos que priman la calidad al menor coste posible, y permiten la fabricación en tiempos muy reducidos.

### 3 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL

#### 3.1 Distribución funcional por talleres

Se trata de una distribución orientada al proceso, en la que los puestos de trabajo y las máquinas y herramientas están agrupados funcionalmente, es decir, según el tipo de actividad que desarrollan. El producto se mueve de una zona a otra sin mayor criterio que recorrerlas todas.

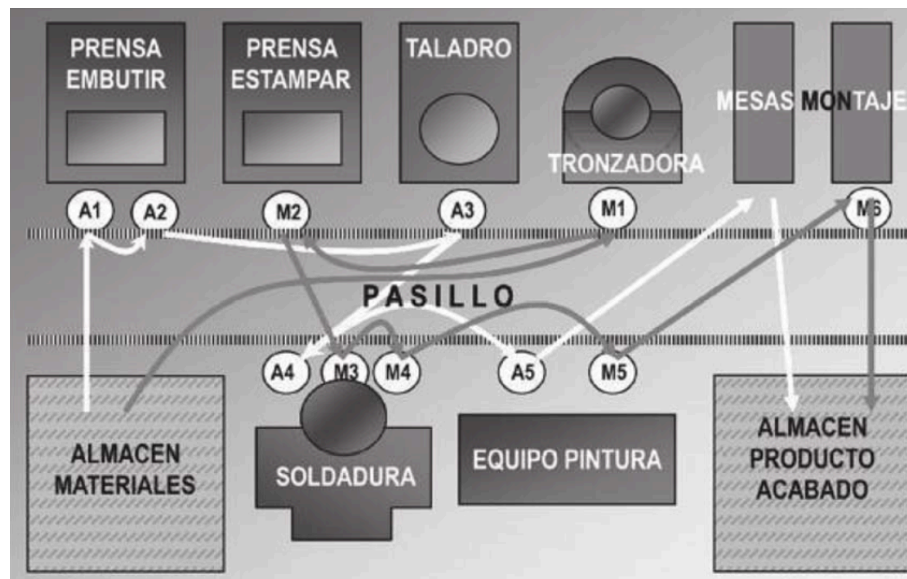


Fig. 8 Distribución funcional u orientada al proceso, no al producto.

Esta distribución es muy habitual en talleres y pequeñas empresas, que deben adaptarse de forma flexible a la variada producción a pequeña o mediana escala, pero no resulta modernamente adecuada en términos de producción ajustada (*lean manufacturing*) porque los traslados no organizados del producto obligan al trabajo por lotes, no de flujo continuo, que no es económicamente óptimo.

#### 3.2 Disposición orientada al producto o en flujo

Distribución típica de las cadenas de montaje donde se prima que el producto fluya sin desplazamientos largos, ni recorridos caóticos, ni tiempos de espera entre actividades de un mismo proceso.

Como ventajas destacan la optimización económica del uso de los recursos, pero tiene las desventajas de:

- Implicar la proximidad de actividades no necesariamente compatibles entre sí: en la Fig. 9 se obliga a colocar la pintura, que requiere una zona muy limpia, justo al lado de la soldadura, que es una actividad que produce polvo y suciedad por las escorias.
- Ausencia de flexibilidad: una avería en una actividad paraliza todo el proceso, pues suele ser complicado improvisar un desvío o *bypass* en el flujo del producto.

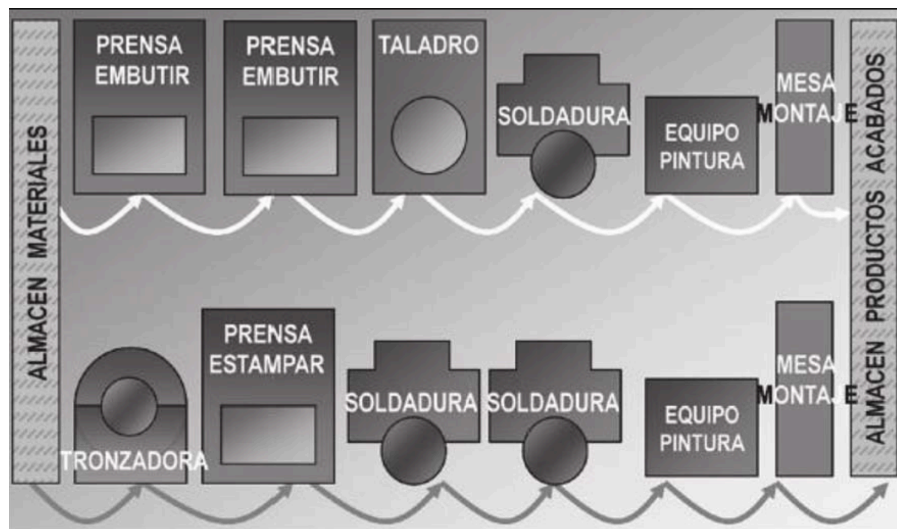


Fig. 9 Distribución orientada al producto o en flujo.

### 3.3 Disposiciones derivadas

En general debe considerarse buscar un equilibrio entre las dos disposiciones anteriores: siempre que se pueda colocar las actividades orientadas al flujo del producto, pero sin llevarlo al extremo de incurrir en incompatibilidad entre actividades.

Además hay situaciones donde el producto debe permanecer fijo y deben ser los sucesivos recursos los que se mueven secuencialmente hacia él: así se fabrican los barcos o las locomotoras, o los edificios, por ejemplo.