

DISEÑO DE LA PRODUCCIÓN

**DIRECCIÓN Y ADMINISTRACIÓN
DE APROVISIONAMIENTOS Y LOGÍSTICA DE ALMACENES**

Por:

LUIS ARENCIBIA SÁNCHEZ

Índice.

1. Diseño del producto.
2. Diseño del proceso productivo.
3. La localización del proceso productivo.
4. La distribución en planta del proceso productivo (Layout).

1. Diseño del producto.

- 1.1. Introducción.
- 1.2. El diseño de un producto o servicio.
- 1.3. I + D. La Investigación y Desarrollo de nuevos productos o servicios.
- 1.4. El diseño modular. La estandarización del producto.

1.1. Introducción.

Durante la fase de diseño del producto o servicio que la empresa va a ofertar es cuando se establecen las bases del sistema productivo y se determinan las especificaciones concretas que ha de cumplir el producto.

Por lo tanto esta fase tiene una influencia vital en todo el proceso productivo, y para una adecuada realización de la misma ha de estar coordinadas tanto la función de marketing, la función técnica o de diseño y la función de producción.

Un adecuado diseño permitirá:

- Reducir los costes de fabricación.
- Aumentar los beneficios de la empresa, como consecuencia lógica de lo anterior.
- Posibilitar un fortalecimiento de la empresa en el mercado, haciendo posible la captación de abanicos más amplios del mismo.

1.2. El diseño de un producto o servicio.

El papel que el área de producción tiene en el diseño del producto es fundamental, ya que ella será la que tenga la responsabilidad última de llevar a la práctica y convertir en realidad el diseño efectuado.

Por lo tanto no sólo interviene en el diseño el área de marketing, captando la suficiente información para determinar los deseos y necesidades del cliente, sino que debe existir comunicación y acuerdos entre los responsables de diseñar, producir y vender el producto.

Los diferentes **tipos de diseño** se pueden clasificar en:

- **Diseño preliminar:** cuyo objetivo es desarrollar varias alternativas que respondan a los requerimientos iniciales del producto, desarrollando incluso conceptos como seguridad, mantenimiento, duración...
- **Diseño final:** durante el cual se desarrollan prototipos y se eliminan posibles inconvenientes de manera que el producto no presente limitaciones técnicas.

A continuación se muestran las diferentes etapas o secuencias en el diseño de un producto o servicio:

- **Generación de ideas.** En esta fase se investigan las necesidades de los consumidores y se seleccionan posibles alternativas de productos a elaborar, tomando finalmente sólo aquellas consideradas como más viables.
- **Selección del producto.** De un estudio de mercado y económico tomamos la alternativa anterior a priori más conveniente, eligiendo las características específicas del producto.

- **Diseño preliminar.** Sobre la base de esas especificaciones se realizan diseños alternativos, teniendo en cuenta el grado de seguridad, mantenimiento y calidad deseados. De todas se tomará finalmente el mejor diseño.
- **Diseño final.** Del diseño elegido se realizan prototipos y se comprueba y desarrolla su funcionamiento y viabilidad, realizando tras las mismas las especificaciones finales del producto, mediante esquemas de montaje, planos, métodos de trabajo, etc.

Una vez obtenidas las especificaciones finales se ha de elegir el proceso de fabricación, tema que será abordado en el siguiente punto.

Desde el punto de vista de la producción, la base del diseño de cualquier producto radica en las especificaciones concretas del mismo, las cuales servirán para diseñar el proceso de fabricación del mismo, incluyendo:

- materiales,
- selección de la maquinaria,
- asignación de tareas a los trabajadores,
- dimensión, distribución y localización de la planta.

El diseño del producto no es algo estático que sólo deba hacerse en una fase inicial del proceso y que posteriormente no requerirá atención. Las empresas, debido a que están inmersas en un entorno evidentemente dinámico, están obligadas a realizar revisiones del diseño. Este **rediseño** puede estar influido por:

- **Los clientes;** los cuales pueden mostrar de forma indirecta o directa su insatisfacción con un diseño en particular.
- **Los competidores;** los cuales pueden hacer que la empresa realice cambios en el diseño para no perder su posición en el mercado o para mejorarla.
- **Los costes;** ya que un aumento de los mismos (de las materias primas, por ejemplo) podría obligar a modificaciones en el diseño.
- **La propia empresa;** el concepto de responsabilidad del producto hace que la empresa sea responsable de los daños causados por diseños defectuosos y esté obligada a rectificarlos.

1.3. I + D. La Investigación y Desarrollo de nuevos productos o servicios.

Antes de desarrollar este apartado mostraremos lo que entendemos con los conceptos de investigación y desarrollo.

- **Investigación.**
 - a) Investigación básica: Es el avance en el conocimiento científico, generalmente sin un propósito comercial predeterminado.
 - b) Investigación aplicada: Es la desarrollada para obtener unos beneficios comerciales.
- **Desarrollo:** Es la transformación de los resultados de la investigación en aplicaciones con utilidad comercial.

La investigación y el desarrollo aplicados en una empresa han de estar orientados a la **generación de nuevos productos/servicios** o nuevos procesos productivos, lo cual comprende varias etapas:

- **Generación y búsqueda de ideas;** para lo cual se ha de disponer de la mayor cantidad de información posible, cuyo origen puede ser:
 - a) Exterior: Principalmente obtenida de clientes y consumidores, ya que ellos son los consumidores directos de nuestros productos, aunque también son fuentes externas de información la competencia, los proveedores y los desarrollos tecnológicos y científicos ajenos a la empresa.
 - b) Interior: La propia información desarrollada por las actividades de I + D que desarrolle la empresa.
- **Selección de ideas;** evaluando cada una de las ideas y seleccionando sólo aquellas que sean compatibles con los objetivos empresariales (obtención de beneficios, mantenimiento de la imagen y prestigio en el mercado...), con los recursos de la organización (disponibilidad de capital, conocimientos técnicos o directivos, instalaciones disponibles...) y con su ventaja competitiva (objetivos de diferenciación en el mercado).
- **Análisis económico;** se han de estimar los ingresos, costes y beneficios que originarán las ideas que superen la fase anterior, utilizando para ello los diferentes modelos existentes (programación lineal, instrumentos financieros, demanda de nuevos productos...).
- **Desarrollo o diseño del producto;** materializando las ideas en productos concretos, lo cual conlleva:
 - a) Desarrollos de las especificaciones del producto: las cuales han de definir las características que ha de tener el mismo, mediante planos, descripciones, materiales...
 - b) Construcción de prototipos: realizados inicialmente de forma artesanal, para realizar con ellos los ensayos necesarios y comprobar sus costes.

Con los prototipos podemos comprobar:

- a) La compatibilidad del producto (que sus componentes encajen y se adapten a las condiciones previstas).
 - b) La simplificación del producto (eliminando todo aspecto superfluo que origine costes innecesarios de fabricación).
 - c) El mantenimiento del producto (de forma que el uso del producto no requiera grandes esfuerzos para el usuario, para lo cual será necesario diseñar el producto con cómodo acceso a sus diferentes puntos para permitir revisiones y sustituciones de piezas).
 - d) La fiabilidad del producto.
- **Prueba de mercado;** una vez superada la fase anterior se efectúa un test en el mercado para evaluar las posibilidades de ventas y así poder extrapolar las posibles ventas y los segmentos de mercado que se alcanzarían.
 - **Lanzamiento y comercialización del producto;** fase final tras superar las

anteriores, decisión que implica la realización de inversiones importantes para producir a mayor escala el producto y ejecutar el plan de marketing.

De esta forma podríamos resumir que la investigación y el desarrollo son fuentes de avance tecnológico y en consecuencia de mejoras de la productividad, pero su implementación conlleva la asunción de riesgos y altos costes a corto plazo, por lo cual su implantación no es excesiva en las empresas de tipo mediano y pequeño.

1.2. El diseño modular. La estandarización del producto.

Por **estandarización** comprendemos la fabricación de las partes de un producto conforme a una norma o estándar específico, sin tener en cuenta donde o cuando van a ser utilizadas, para facilitar que dichas piezas puedan ser intercambiables.

Esta estandarización presenta una serie de ventajas importantes:

- Menos partes de las que ocuparse en el inventario y la manufactura.
- Reducción de costes y tiempos de preparación.
- Optimización de los procesos de compra, manipulación e inspección.
- Posibilidad de realizar pedidos desde el almacén.
- Posibilidad de dirigir y automatizar grandes producciones.
- Posibilidad de desviar inversiones en la mejora del diseño y controles de calidad.

Sin embargo también presenta ciertas desventajas:

- Los diseños pueden ser paralizados con muchas imperfecciones significativas.
- Los costes de los cambios en el diseño hacen rehuir de posibles mejoras.
- Disminuye la variedad de productos al homogeneizarse más sus componentes.

Finalmente podríamos definir el diseño modular como aquél que desarrolla módulos básicos formados por piezas que pueden ser utilizados en una gran variedad de productos, es decir, el que emplea la estandarización de las partes del producto.

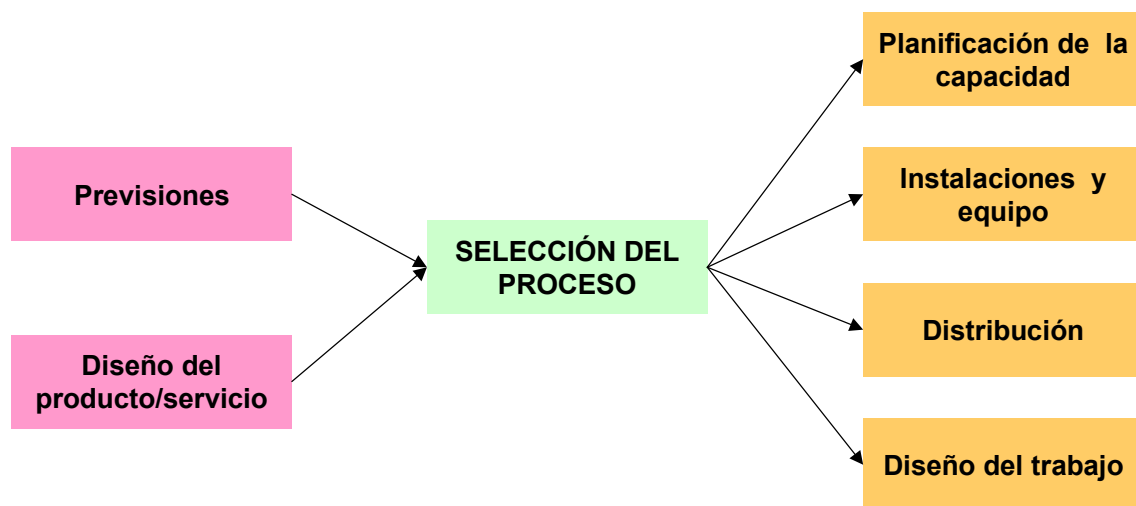
2. Diseño del proceso productivo.

- 2.1. Introducción.
- 2.2. Capacidad del proceso productivo.
- 2.3. Clasificación de procesos.
- 2.4. La tecnología.
- 2.5. Etapas de la selección del proceso.
- 2.6. La localización del proceso productivo.
- 2.7. La distribución en planta del proceso productivo (layout).

2.1. Introducción.

La selección del proceso se refiere al modo que una organización elige como producir sus productos o proporcionar sus servicios. Esencialmente, esto incluye elegir la tecnología y analizar los problemas, y tiene implicaciones importantes en la planificación de la capacidad, la distribución de los equipos e instalaciones, y el diseño del sistema de trabajo.

En la siguiente figura se proporciona una visión global de como la selección del proceso encaja en el diseño del sistema:



La selección del proceso ocurre naturalmente cuando un nuevo producto o servicio comienza a ser planeado. Sin embargo, también ocurre periódicamente debido a cambios tecnológicos en los equipos así como cambios en los productos o servicios.

La primera etapa en la planificación del proceso consiste en resolver el problema de producir o comprar algunos o todos los productos o subcontratar algunos o todos los servicios. En estas decisiones, los factores a considerar son:

- La capacidad disponible: si una organización tiene una cantidad disponible, el incrementar esa capacidad o dejar una demanda insatisfecha le puede reportar unos costes mayores que comprar o subcontratar productos o servicios.
- La experiencia: si una empresa no dispone o carece de expertos para realizar un trabajo satisfactoriamente, comprar o subcontratar debe ser la alternativa más razonable.
- La tecnología existente y que puede ser utilizada.
- La calidad que se desea.
- La naturaleza de la demanda.
- Las necesidades de capital.
- El coste asociado a las distintas alternativas.

Si la decisión es fabricar todos o algunos de los productos o prestar todos o algunos de los servicios, el siguiente problema que se plantea es cuál debe ser el tipo de proceso a emplear.

Para definir el tamaño de las instalaciones, en términos de capacidad del sistema productivo, es necesario lo siguiente:

- Definir la unidad de medida.
- Demanda a largo plazo establecida como objetivo.
- Calcular la capacidad del sistema productivo.

Para medir la capacidad de un sistema productivo hay que tener en cuenta el proceso productivo. Si los productos son homogéneos, es posible definirla en términos de unidades terminadas por unidad de tiempo. En otros casos, cuando los productos finales son muy variados, pero se fabrican a partir de pocos componentes, la capacidad puede medirse en términos de unidades de inputs que pueden procesarse.

En el sector de servicios la unidad de medida de la capacidad es más compleja de definir, dado que los tiempos de proceso dependen del cliente, que es una variable exógena. Cuando se mide se utilizan índices como el número de clientes por unidad de tiempo, aunque, como se puede suponer, la precisión que se obtenga de esta forma es variable.

El producto a fabricar no define directamente el proceso a utilizar, aunque, de hecho, para cada producto existe un proceso utilizado con mayor frecuencia. Se debe considerar, por tanto, qué proceso es utilizado en el mercado por la competencia.

Otro factor a considerar es la estrategia a seguir por la empresa; un liderazgo en costes, que implica producción masiva y coste unitario reducido, deberá inclinarse por un proceso en línea; para una estrategia de especialización es más adecuado el flujo intermitente, que permite una producción más diferenciada, aunque el coste será mayor.

Desde un punto de vista económico, la elección del proceso óptimo debe realizarse mediante selección de inversiones con criterios de costes/beneficios.

Existen otros criterios, que influirán en la selección, tales como las necesidades de capital, especialización de la mano de obra, formación administrativa para una correcta gestión, tecnología utilizada, etc.

2.2. Capacidad del proceso productivo.

La **capacidad** se define como la cantidad de productos que puede obtenerse en cada período de tiempo, con los recursos disponibles y en condiciones de producción normales (Schroeder, 1992), tomando en consideración también en algunos casos, el tiempo.

No debe confundirse capacidad con el volumen (velocidad real de producción durante un cierto tiempo), pudiéndose hablar de un volumen de producción óptimo o nivel de producción para el cual el beneficio es máximo (ingreso marginal = coste marginal), o de volumen de producción típico para el cual se hace mínimo el coste total medio. Tampoco se ha de confundir con la capacidad pico, que sólo se alcanza durante un período corto de tiempo y supone la cantidad máxima eventual, considerando la adición de factores: horas extraordinarias, más trabajadores, políticas de emergencia productiva, etc.

No es fácil determinar la capacidad de producción, pero sí puede afirmarse que la fábrica ha de contar con una capacidad que le permita hacer frente a las condiciones de la demanda y la competencia del mercado en que opera la empresa.

Capacidad y volumen están muy en relación con la demanda esperada. Por otra parte una adecuada capacidad permite aprovechar las economías de escala que se generan por el incremento del volumen de producción en unidad de tiempo.

Una empresa optará siempre por aquella capacidad productiva que genere el menor coste medio de producción para un nivel de demanda previsto.

Un aspecto bastante relacionado, en principio, con la capacidad productiva es la **dimensión** de la fábrica, pero no deben confundirse en absoluto. La capacidad atiende a la cantidad y variedad de productos fabricados, mientras que la dimensión alude, además de a los productos, a los componentes fabricados internamente; así el capital productivo y el número de trabajadores son aspectos relacionados con la dimensión.

La empresa ha de analizar con rigor la dimensión adecuada para evitar cargas de estructura innecesarias. Es incuestionable que existe una estrecha vinculación entre la dimensión de la empresa y la gestión de la mismas, y en algunos casos con el endeudamiento.

La externalización de actividades o fases del proceso productivo puede suponer un mecanismo de dimensionamiento, siempre que no perjudique el normal desarrollo de la cadena de valor añadido que ha de procurar.

Existen diversos criterios para establecer o medir la dimensión de la empresa:

- **Cantidad y valor de los inputs.** La medida en términos de unidades físicas no favorece la comparación interempresas, por ello la valoración monetaria es más aplicable, al permitir la homogeneización valorativa. Así una empresa será mayor cuanto más valor tengan sus inputs (materias primas, mano de obra, recursos energéticos, I+D, etc.).
- **Criterio del activo fijo.** La empresa que posea más inmovilizado material se considera más dimensionada.
- **Criterio de la capacidad productiva normal.**
- **Criterio de la cifra de ventas.** La mayor facturación determina la mayor dimensión de la empresa, comparativamente hablando.
- **Criterio del valor añadido.** Es muy utilizado en las estadísticas públicas, incluyendo en el concepto del valor añadido aspectos tales como: intereses, salarios, beneficios, no incluyéndose las amortizaciones al no ser homogéneos los métodos aplicados por las diferentes empresas.

Cabe hablar, asimismo, del tamaño de un grupo de empresas, pudiéndose establecer un índice único, por ejemplo el nivel de empleo del grupo en comparación con otros grupos empresariales.

En este orden de cosas cabe plantearse si existe una dimensión óptima. Para Perrouse no hay tal: cuanto mayor pueda ser una empresa, mejor; sin embargo, Robinson entiende que sí hay una dimensión óptima: cuando los costes totales medios se minimizan, existiendo, según este autor, un intervalo en el que la empresa alcanza esa dimensión óptima.

En línea con lo anterior podemos considerar también si tiene alguna razón de ser la pequeña empresa. Las tesis americanas apuntan a que sí sobre la base de tres argumentos:

- Existen zonas de inversión en las que la gran empresa no tiene cabida.
- La empresa pequeña es más adaptable que la grande ante los cambios tecnológicos.
- Existe lo que se denomina subcontratación colaboradora, de forma que ciertas actividades son cedidas por las grandes empresas a unidades empresariales más pequeñas y operativas.

2.3. Clasificación de procesos.

Atendiendo al criterio elegido para realizar la clasificación, existen diferentes tipos de procesos:

Según el flujo del producto.

a. Sistemas continuos o de flujo en línea.

Son sistemas altamente especializados, diseñados para proporcionar volúmenes altos de salidas de uno o pocos productos estandarizados. También suele ser denominada como producción en masa o producción continua.

Recoge por tanto el proceso por el cual la obtención de los bienes se realiza por una corriente de trabajo ininterrumpida en el tiempo. La producción es continua siempre que funcione la denominada cadena de producción, la cual sería la senda que seguirían los distintos factores hasta convertirse en el producto terminado.

La naturaleza altamente repetitiva de las operaciones conduce a la especialización de los equipos y trabajo. Esta división del trabajo requiere, normalmente, trabajadores poco especializados. Por otra parte, los equipos especializados, a través del gasto, pueden justificar por sus características el que los costes por unidad producida sean relativamente bajos.

Por regla general, tal producción se realiza para inventarios o almacén, más que por órdenes de clientes.

En este tipo de producción los materiales y materias primas entran en un extremo de la línea de producción siguiendo las distintas fases del proceso en las que se realizan las diferentes operaciones, por lo que cada unidad de producto pasa a la operación siguiente en el momento de terminar la operación anterior. Los procesos ininterrumpidos tienen una duración considerable, por lo que los cambios de preparación de las máquinas y útiles se producen a intervalos largos en el tiempo, e incluso no existen en máquinas o líneas de producción de uso especializado para un determinado tipo de producto.

La mayor parte de los productos elaborados por el sistema de proceso continuo son materias primas, productos básicos o de utilización masiva, por lo que las especificaciones de producción están determinadas y los componentes normalizados.

Una característica muy especial de la producción continua es la interrupción del proceso completo al quedar detenida una de sus operaciones. Aun cuando por las características técnicas del proceso pudieran continuar determinadas operaciones o partes de la línea de producción, el flujo de producción resulta desequilibrado. El coste, por lo tanto, de las interrupciones es muy alto, por lo que es necesario evitar en lo posible la interrupción, y

en todo caso tratar de anticiparse adoptando las acciones necesarias para reducir sus consecuencias.

b. Sistemas intermitentes o de flujo intermitente.

Son más generalizados que los anteriores, realizan más adaptaciones para dirigir volúmenes menores de productos que presenta una variedad de requisitos del proceso.

El proceso es realizado por lotes, y el volumen es mucho menor que en los sistemas de flujo en línea.

Estos sistemas están caracterizados por equipos más generales que pueden satisfacer una cierta diversidad de requisitos de procesamiento, trabajadores preparados o semipreparados pueden operar con el equipo y la producción obtenida debe pasar por un control más estrecho que en los sistemas continuos, siendo por todo ello los costes por unidad más elevados que en el caso anterior.

De esta manera, el proceso no requiere continuidad, las interrupciones en la forma de producir no plantean excesivos problemas técnicos y los mismos equipos o talleres pueden ser utilizados en varias operaciones.

La producción intermitente está caracterizada por un **sistema productivo con agrupación en lotes de fabricación**, siendo el sistema utilizado cuando la gama de productos es variada y el volumen de fabricación de cada uno es pequeño respecto a la producción total.

Este tipo de producción puede afectar a productos cuyas especificaciones están estandarizadas, pero el volumen de producción no es lo suficientemente grande para adoptar el sistema de producción continua, por lo que la economía de fabricación adopta el sistema de producción intermitente por lotes.

En determinados casos es necesario utilizar este sistema de fabricación, al ser variables las especificaciones de cada lote de producción, aun cuando se trate de un mismo producto.

Se caracteriza la producción intermitente por las operaciones productivas que se realizan a un determinado lote, en una sección o máquina, pasando éste, una vez completada la fase del proceso, a la fase siguiente. Una vez completadas las operaciones de un lote en cada una de las secciones o máquinas, entra el lote siguiente de especificaciones diferentes, para lo cual puede ser necesaria, en determinadas ocasiones, la nueva preparación de máquinas, útiles e instrucciones de fabricación.

c. Sistemas por proyectos.

También son denominados sistemas por encargo o pedido. Pueden ser considerados como una modalidad de la producción intermitente, con la característica que se refieren a productos muy específicos, donde el cliente expone las características deseadas del producto.

De esta manera se trata de una producción con un horizonte temporal limitado, donde los trabajos tienen propósitos especiales y complejos, e incluyen un conjunto único de actividades.

En este tipo de proceso el producto final a obtener es único en cada caso, con características, especificaciones, calidades, materiales, dimensiones, etc., distintas a

todos los demás productos de su misma denominación. Únicamente tienen de común con otros su finalidad general, aunque su finalidad específica es diferente. Pueden utilizarse en su realización las mismas o análogas tecnologías y los mismos o análogos sistemas, pero el nacimiento de la idea, anteproyecto, proyecto, diseño, planificación del trabajo y recursos utilizados son tan únicos y diferenciados de todos los demás como el producto final mismo.

Dentro de estos proyectos se incluyen construcciones inusuales o grandes, desarrollo de nuevos productos o promociones, planificación y coordinación de misiones especiales, etc.

Debido a su limitada vida y a la naturaleza no repetitiva de las actividades, su coste por unidad suele ser bastante elevado.

Estos procesos de producción están muy en boga en la actualidad, siendo la expresión más moderna las llamadas técnicas **Just In Time (JIT)**, introducidas por las productoras japonesas y aplicadas en la actualidad a procesos históricamente continuos como la fabricación de automóviles.

Los sistemas JIT se basan en la reducción de los procesos de fabricación, aumentando su flexibilidad para adaptar la producción a las necesidades de la demanda, reduciendo costes globales y respondiendo a los cambios de forma efectiva y eficiente.

Los principios clásicos de organización productiva han sido sustituidos por nuevas técnicas, tales como:

- Especialización de plantas industriales más pequeñas, pero más rentables y eficaces, por líneas de producto.
- Organización de la distribución de planta orientada al flujo de materiales.
- Flexibilidad y cambio rápido para fabricar de forma sincrónica y con stocks mínimos.

Detrás del enfoque del JIT subyace la idea de sincronización de las actividades necesarias para prestar servicio al cliente.

Uno de los primeros efectos que se producen en las compañías que han implantado con éxito el JIT, es el incremento de la producción a partir de:

- Desarrollar estrategias para optimizar la utilización de los recursos excedentes (incremento de la cuota de mercado en las líneas de producto, lanzamiento de nuevos productos, etc.).
- Impactos positivos sobre la función de distribución, orientados a:
 - a) Reducir los costes logísticos (líneas de producción, mal equilibrio, roturas de stocks, etc.).
 - b) Mejorar el servicio al cliente.
- Optimización del flujo de materiales como objetivo estratégico para incrementar la competitividad (eliminación de grandes almacenamientos, aprovisionamiento por lotes reducidos, incremento del número de envíos por cliente...).

A modo de resumen, en la siguiente tabla se reflejan los tres tipos de procesos según sus características.

CARACTERÍSTICAS		TIPOS DE PROCESOS		
		EN LÍNEA	INTERMITENTE	POR PROYECTOS
PRODUCTO	Tipo de pedido	Continua o en lotes grandes	En lotes	Una sola unidad
	Flujo del producto	Secuencial	Mezclado	Ninguno
	Variedad de productos	Baja	Alta	Muy alta
	Tipo de mercado	En masa	Clientes	Único
	Volumen	Alto	Medio	Una sola unidad
MANO DE OBRA	Habilidades	Bajas	Altas	Altas
	Tipo de tarea	Repetitiva	No rutinaria	No rutinaria
	Salario	Bajo	Alto	Alto
CAPACIDAD	Inversión	Alta	Media	Baja
	Inventario	Bajo	Alto	Medio
	Equipo	Para usos especiales	Para usos generales	Para usos generales
OBJETIVOS	Flexibilidad	Baja	Mediana	Alta
	Costo	Bajo	Mediano	Alto
	Calidad	Consistente	Más variable	Más variable
	Tiempo de procesamiento	Bajo	Mediano	Alto
CONOROL	Control de producción	Fácil	Difícil	Difícil
	Control de calidad	Fácil	Difícil	Difícil
	Control de inventario	Fácil	Difícil	Difícil

Según el tipo de pedido.**a. Proceso para inventario.**

Se trata de procesos en los cuales el producto está especificado por el propio fabricante (sistema Pull), teniéndose por lo general costes bajos.

Este tipo de procesos tienen como objetivo equilibrar el inventario, la capacidad y el servicio, presentando sus principales problemas en la dificultad del establecimiento de pronósticos, con lo cual deberá tenerse más cuidado en la planeación de producción y en el control de inventarios.

b. Procesos por pedido.

Son procesos en los que el producto está especificado por el cliente, generalmente a costes más altos (sistema Push).

El objetivo en estos tipos de procesos es administrar los plazos de entrega y la capacidad de producción, ya que hay que cumplir con las entregas, controlando las mismas.

En la siguiente tabla se resume las características de estos dos tipos de procesos.

CARACTERÍSTICAS	TIPOS DE PROCESOS	
	PARA INVENTARIOS	POR PEDIDO
Producto	Especificado por el productor Coste bajo	Especificado por el cliente Coste alto
Objetivo	Equilibrar el inventario, la capacidad y el servicio	Administrar los plazos de entrega y la capacidad
Principales problemas en las operaciones	Preparación de pronósticos Planeación de la producción Control de inventarios	Promesas de entrega Control de entregas

Según la combinación de estos dos criterios de clasificación (según el flujo del producto y el tipo de pedido) se puede establecer seis tipos de procesos distintos. Dentro de una misma empresa, cada producto específico se elabora dentro de uno de estos tipos de procesos.

Debido a la variedad de productos que puede fabricar una empresa, por lo general estará empleando una diversidad de tipos de proceso, por lo cual es normal que en las organizaciones existan varios tipos dentro de las mismas instalaciones físicas.

Algunos ejemplos de distintos tipos de actividades que son frecuentemente realizadas a través de un determinado tipo de procesos son determinados en la tabla siguiente.

	PARA INVENTARIO	POR PEDIDO
FLUJO EN LÍNEA	Refino de petróleo Molienda de harina Enlatadoras Cafeterías...	Líneas de ensamblaje de automóviles Telefónica Servicios eléctricos...
FLUJO INTERMITENTE	Cristalería Muebles...	Hospitales Joyería por pedido...
POR PROYECTO	Casas de especulación Películas comerciales...	Edificios Retratos Barcos Películas...

Según el número de productos a obtener.

Se podría hablar de **procesos de producción simple** y **procesos de producción múltiple**.

Lo normal suele ser el segundo tipo, caracterizado por la producción de varios productos diferenciados y que técnicamente pueden ser interdependientes o no, es decir, que puedan tener en común ciertos factores.

En otras ocasiones, la multiproducción no es más que una acumulación de producciones simples con asignación alternativa de recursos.

Distinguimos tres clases de procesos dentro de la obtención de varios productos.

- **Procesos de producción múltiple independientes**, los cuales se producen en empresas con distintas explotaciones monoproductoras o con distintas cadenas de producción independientes.
- **Procesos de producción múltiple alternativa**, realizados normalmente en empresas que trabajan sobre la base de producción intermitente, donde los problemas son de asignación de la mano de obra y los materiales.
- **Procesos de producción múltiple compuesta**, en los cuales de un mismo proceso se pueden obtener más de un producto o que parte de él sea común a más de un producto.

Estos sistemas de clasificación son útiles, por un lado, para categorizar distintos tipos de problemas de decisión que surgen en el ámbito operativo (decisiones de costes, calidad, producción y control de inventarios...), y por otra parte, pueden usarse para llevar a cabo la selección del proceso productivo.

2.4. La tecnología.

La tecnología debería ser planificada y controlada, para así profundizar en la mejor comprensión de sus efectos ambientales, sociológicos y psicológicos y, en consecuencia, valorar sus costes sociales, con objeto de minimizar los efectos negativos.

La tecnología como tal, es un elemento esencial del proceso económico y, también, un factor crítico de la competitividad industrial, que constituye uno de los pilares fundamentales sobre los cuales se apoya la rentabilidad y el crecimiento de las empresas y, por tanto, resulta ser una condición esencial para su conservación y perpetuidad.

Incluso podríamos afirmar que las más importantes empresas industriales deben su origen y supervivencia a una correcta aplicación de la tecnología al desarrollo de nuevos productos y a la mejora de los procesos de fabricación.

La tecnología es un concepto ambiguo, lo que dificulta su delimitación; no obstante, se la puede definir como un método (o procedimiento) para hacer algo. En esta definición incluimos los medios vinculados al procedimiento (instrumentos, herramientas y máquinas) y la clase de materiales que se transforman, pero también los conocimientos científicos (u otro conocimiento organizado) aplicados a su puesta en práctica.

La tecnología tiene dos **componentes**:

- **Un problema a resolver**, un objetivo, un producto; en resumen, algún resultado deseado.
- **Un conjunto de actividades**; esto es, las maneras, medios o métodos a través de los cuales lograr ese resultado deseado.

Ahora bien, no basta con conocer un procedimiento que se pueda aplicar a la solución de un problema o al logro de un objetivo, sino que hay que buscar el procedimiento más eficiente de entre los varios posibles.

Tipos de Tecnología.

La clasificación habitual de las tecnologías hace referencia al grado de intervención humana en el proceso productivo y a su capacidad de control.

- Tecnología manual, en la que el trabajo y el control lo realiza el hombre.
- Tecnología semiautomática, en la que el trabajo lo realiza la máquina y el control el hombre.
- Tecnología automática, en la que tanto el trabajo como el control lo realiza la máquina.

Selección de Tecnología.

La elección de tecnología es una decisión, a veces, difícil, y de largo plazo, debiéndose considerar como estratégica dentro de la empresa.

Los aspectos más importantes a tener en cuenta son los siguientes:

- Criterios económicos, ya que constituye una inversión.
- Economía de experiencia, difícil de evaluar antes de conocer el funcionamiento concreto.
- Aspectos estratégicos, ya que las razones de mercado pueden imponerse a la rentabilidad de la inversión.
- Necesidad de innovar, ya que la no-adopción de la tecnología adecuada puede suponer desventajas competitivas al no estar al día.

- Aspectos técnicos, especialmente la calidad.
- Compatibilidad con los equipos y medios existentes, sobre todo, humanos (Formación en mantenimiento de equipos, etc.).
- Compatibilidad Medioambiental.

2.5. Etapas de la selección del proceso.

La selección del proceso puede considerarse como la suma de una serie de decisiones que afectan a la posibilidad teórica de fabricar el producto, el recorrido que éste debe seguir, la naturaleza general del sistema de fabricación y los medios específicos que han de emplearse. Estas decisiones las podríamos dividir en:

Decisiones tecnológicas en la selección del proceso.

Dentro de las decisiones tecnológicas incluimos:

- **La elección tecnológica primaria.** La cuestión básica es: ¿puede fabricarse el producto o prestarse el servicio?, ¿existe la tecnología adecuada a tal fin?.
- **La elección de la tecnología secundaria.** Consiste en determinar cual de los distintos tipos de procesos de transformación posibles va a ser el utilizado. Al igual que la elección anterior, se requiere personal especializado, pero en esta segunda, además es importante tener en cuenta las orientaciones que proporcionan los departamentos de producción, marketing y la dirección general, bajo la forma de objetivos de mercado, objetivos generales, previsiones a largo plazo, etc., puesto que estos factores van a delimitar la sofisticación del equipo seleccionado.
- **Elección del equipo específico.** En la elección del equipo específico deben considerarse la marca y el modelo del equipo a seleccionar. En este caso, entran en juego, las técnicas de análisis de inversión para evaluar factores cuantificables tales como coste inicial, costes de explotación por unidad y planes de amortización.

Además de estas consideraciones, la dirección de la empresa también debería tomar en cuenta otros factores subjetivos, tales como:

- a) La flexibilidad para adaptarse a cualquier posible cambio introducido en el producto y admitir la inclusión de otros medios de fabricación adicionales.
 - b) La disponibilidad de recambios y utillajes especiales.
 - c) Ayuda y asesoramiento del proveedor en el montaje y la puesta en marcha.
 - d) Formación especial de la mano de obra que ha de utilizar los diferentes equipos o máquinas.
 - e) El mantenimiento y las reparaciones normales.
 - f) La seguridad del equipo.
- **Elección del flujo de proceso.** Por último, la elección del flujo del proceso debe ser considerada en sus diversos aspectos y en la interrelación estrecha que mantiene con la elección de la tecnología secundaria y la elección del equipo específico.

Parece lógico, que salvo que se preste la atención adecuada al flujo de proceso, difícilmente se podrán determinar la clase y número de máquinas necesarias. Una razón por la cual se considera a esta elección en este punto podría ser por el carácter recurrente de la misma.

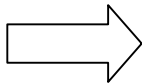
Los elementos a emplear para tratar de determinar el flujo adecuado son múltiples, pero los más utilizados son:

- a) **El esquema de montaje:** es la visión ampliada del producto en términos de sus diversos componentes.
- b) **El gráfico de montaje:** basándose en la información proporcionada por el esquema de montaje, establece la forma en que las diversas piezas deben acoplarse, el orden en que debe tener lugar y la manera en que ha de efectuarse el suministro de materiales, entre otras cosas.
- c) **Las hojas de ruta:** se utilizan para especificar las diversas fases de fabricación a la que ha de ser sometido un producto o servicio dado e incluye información tal como la clase de máquinas y herramientas a emplear y las operaciones necesarias.
- d) **El diagrama de flujo:** valiéndose de los símbolos establecidos por la ASME (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos) indica las transformaciones experimentadas por el producto o servicio a medida que va pasando por las sucesivas fases de fabricación.

Como regla general, cuanto menores sean las esperas y períodos de almacenamiento durante el proceso mejor es el resultado. Los símbolos empleados habitualmente son los siguientes:



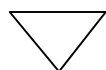
Operación. Se cambian intencionadamente alguna de las características físicas o químicas de un objeto, se ensambla con otro o se desarma, se dispone o prepara para otra operación, transporte, inspección o almacenamiento.



Transporte. Se mueve un objeto desde un lugar a otro, sin que sea parte integral de una operación o inspección.



Inspección. Se examina un objeto para su identificación o para comprobar la calidad o cantidad.



Almacenamiento. Se mantiene un objeto bajo condiciones controladas.



Demora. Cuando las condiciones no permiten la realización del siguiente paso previsto.

3. La localización del proceso productivo.

3.1. Introducción

3.2. La necesidad y naturaleza de las decisiones de localización.

3.3. Procedimiento general para la elección de la localización.

3.3.1. Factores que afectan a las decisiones de localización.

3.3.2. El método descriptivo para la elección de la localización.

3.3.3. El método del transporte.

3.4. La localización en las empresas de servicios/detallistas y profesionales.

3.1. Introducción

La decisión de localización consiste en la determinación del lugar que, considerando todos los factores, ocasionará el máximo beneficio posible, proporcionando a su vez la máxima satisfacción de los clientes.

La elección del lugar y sitio es previa a la distribución en planta, y al diseño del edificio y su distribución interna.

La decisión de localización de la empresa es de vital importancia pues requiere una inmovilización de los recursos financieros a largo plazo, además de afectar a la capacidad competitiva de la empresa.

En la selección del lugar intervienen una serie de variables que más adelante se enumeran. Para poder valorarlas es necesario disponer de unas ubicaciones previas y establecer su comparación. La relación de variables a considerar se pueden clasificar en:

- Recursos Humanos, disponibilidad, cualificación, nivel de disponibilidad de viviendas y grado de sindicación.
- Recursos materiales, disponibilidad de materias primas y energía, y su coste. Facilidad de transporte.
- Capital, subvenciones y ayudas.
- Servicios en general, servicios reparaciones, bancarios, informáticos, públicos, etc.

En caso de una empresa de servicios, dos factores muy importantes son los siguientes:

- El tamaño del mercado próximo al servicio
- La proximidad de los clientes.

3.2. La necesidad y naturaleza de las decisiones de localización.

La elección de la localización de una empresa y por lo tanto de su proceso productivo representa una parte integral del proceso de planificación estratégica de la empresa.

La empresa puede tomar esta decisión de diferentes maneras:

- Como una **estrategia de marketing**, considerando su localización como una ayuda al incremento de las ventas.
- Como una **necesidad de expansión**, cuando la empresa experimenta un incremento de la demanda de sus productos, de manera que con la nueva localización se complete el sistema existente.

- Como una **respuesta a la depresión de sus inputs básicos**, como por ejemplo una disminución de las materias primas necesarias.
- Como **respuesta a un cambio de los mercados**, trasladando la organización a un lugar donde los negocios sean más atractivos.
- Como **respuesta a la obsolescencia de las instalaciones**.
- Como **respuesta a presiones de la competencia**.
- Debido a **fusiones y adquisiciones de otras empresas**.

La naturaleza de estas decisiones puede quedar inscrita en dos aspectos fundamentales.

- **La importancia de las decisiones de la localización.** Esta decisión es vital para el diseño del sistema de producción, debido a que:
 - a) Trae consigo un compromiso a largo plazo;
 - b) Tiene un impacto en los costes e ingresos operativos, así como sobre las propias operaciones.
- **Los objetivos de las decisiones de la localización.** Básicamente el objetivo de la decisión es alcanzar un beneficio potencial, aunque las organizaciones 'nonprofit' tratan de obtener un equilibrio entre los costes y el nivel de servicios que se quiere proporcionar al cliente.

De esta manera, la empresa se instalará donde el coste de materia prima, mano de obra y del transporte sean más bajos (liderazgo de costes) y en el lugar que le permita conseguir sus prioridades competitivas (mejor nivel del servicio, menor tiempo de entrega, mano de obra mejor cualificada...).

En cuanto a las alternativas que se presentan, se pueden destacar:

- Ampliación sobre el emplazamiento actual.
- Establecimiento de nuevas sucursales.
- Cierre de la instalación actual y búsqueda de un emplazamiento nuevo.

3.3. Procedimiento general para la elección de la localización.

El modo en que una empresa toma la decisión de su localización depende mucho de su tamaño y de la naturaleza y ámbito de sus operaciones, pero un proceso general para la toma de la decisión de localización comprenderá las siguientes etapas:

- Determinar los criterios a utilizar para evaluar las diferentes alternativas de localización (incremento de ingresos, mejora de servicios al cliente...).
- Identificar los factores que son importantes o dominantes para la toma de la decisión derivados de los objetivos estratégicos de la empresa (localización de los mercados, localización de la materia prima...), así como los factores secundarios (deseables pero no imprescindibles).
- Desarrollo de las alternativas de localización:
 - a) Identificar una región general para la localización.
 - b) Identificar un número adecuado de alternativas dentro de esa región.
- Evaluar las distintas alternativas mediante un análisis detallado, que recoge toda la información sobre cada posible localización y la evalúa tanto desde el punto de vista cuantitativo (p.e. coste del transporte) como de forma cualitativa (p.e. clima político).
- Realizar la elección, tras haber determinado una o varias localizaciones válidas.

De esta forma una manera de tomar la decisión de localización es partir de la propia necesidad de localización (acceder a una nueva instalación o una existente, tras haber desechado otras posibles soluciones). Tras esta necesidad se crea un equipo multifuncional que debe recopilar toda la información interna y externa y visitar los posibles emplazamientos.

Toda esa información se sintetizará en distintos niveles geográficos (regional/internacional en un macroanálisis, comunidad o ciudad en microanálisis, y finalmente la elección del lugar concreto).

3.3.1. Factores que afectan a las decisiones de localización.

La decisión de localización de una organización puede seguir dos enfoques:

El enfoque subjetivo.

En este tipo de enfoque no se realiza propiamente ningún estudio riguroso de localización, pudiéndose dividir en otros tres enfoques:

- **Antecedentes del sector.** La nueva instalación se localiza en una zona que halla sido elegida anteriormente por otras empresas del mismo sector.
- **Factor preferencial.** La localización se decide de acuerdo la preferencia que más influye en la persona que ha de tomar la decisión.
- **Factor dominante.** Puede existir una variedad amplia de factores, pero hay un determinado factor que predomina sobre los demás y limita el número de posibilidades de elección a evaluar. Algunos de estos factores influyentes son:
 - a) La localización de la empresa cerca de los mercados para sus productos o servicios (outputs), factor vital cuando:
 - 1. La cercanía de la localización determina donde el cliente consume los productos o servicios.
 - 2. Los costes de transporte desde la empresa a los mercados son muy elevados.
 - 3. Cuando los productos finales sean perecederos.
 - 4. Cuando el transporte del producto presente el riesgo de rotura debido a la fragilidad de aquél.
 - 5. Cuando la empresa trabaja por encargo.
 - b) La localización de la empresa cerca de las fuentes que originan sus inputs o entradas. Así, la localización cerca de zonas donde existan las materias primas utilizadas en el proceso puede ser vital en el caso de industrias extractivas, así como la localización cerca de zonas donde exista una mano de obra cualificada o barata puede ser otro factor decisivo.
 - c) Los requisitos del proceso. Cuando el proceso es analítico (la materia prima se descompone dando lugar a varios productos) la empresa tiende a situarse cerca de los inputs, mientras que cuando el proceso es sintético (varios materiales y componentes se unen para formar un solo producto) la empresa tiende a situarse cerca de los mercados.
 - d) Factores legales y tributarios. La empresa tiende a situarse en zonas industriales en las que los precios sean atractivos y existan exenciones fiscales.

- e) Disponibilidad de locales, instalaciones o terrenos.
- f) Existencia de infraestructura adecuada para el tipo de proceso productivo a realizar.
- g) Factores geográficos o del entorno, cuando éstos influyan decisivamente en el producto o servicio prestado.

El enfoque objetivo.

En este tipo de enfoque se parte de una comparación del perfil de la empresa con el plan estratégico de la misma, lo cual no sirve para tomar la dirección básica para generar localizaciones factibles a tener en cuenta.

Este tipo de enfoque se plantea en cuatro etapas, cada una influenciada por diferentes factores:

- **Elección del mercado regional.**

- a) El mercado potencial (concentraciones y tiempos de entrega).
- b) La cuota del mercado (número de competidores en la zona).
- c) Los costes operativos a nivel regional.

- **La elección de la subregión.**

- a) Los costes y disponibilidad de materias primas, mano de obra y energía.
- b) Los sistemas de transporte existentes.
- c) La influencia climática cuando afecta a los costes de producción.
- d) Las políticas de impuestos y otras influencias legales estatales.

- **La elección del municipio.**

- a) Preferencias de los mandos de la empresa.
- b) Servicios e infraestructuras existentes.
- c) Gobierno e impuestos locales.
- d) Disponibilidad de terrenos.
- e) Financiación y atractivos económicos.
- f) Población de la localidad y alrededores.
- g) Nivel adquisitivo de la población.

- **Elección del lugar específico dentro de la localidad.**

- a) Condiciones del terreno y urbanización en caso de construcción.
- b) Condiciones del local y coste de su alquiler o compra en caso de local ya existente.
- c) Flujo de peatones, importante en caso de empresas de servicios.
- d) Situación de los competidores.

3.3.2. El método descriptivo para la elección de la localización.

Existen varios métodos para elegir las diferentes alternativas a la hora de tomar la decisión de localización de la empresa, existiendo tres grandes grupos: los métodos de macroanálisis, los métodos de microanálisis y los métodos heurísticos.

El método descriptivo se incluye en el primer grupo. Dicho método trata de combinar factores tangibles e intangibles, y consiste en desarrollar una escala de categorías para cada uno de esos factores, de manera que un juicio a priori subjetivo se pueda convertir en algo cuantificable.

Los pasos a seguir para desarrollar este **método** son:

- Preparar una lista de los factores que se consideren importantes para la toma de la decisión de localización de la empresa.
- Asignar a cada factor un valor de ponderación que refleje su importancia relativa frente al resto de factores.
- Asignar una escala común a los factores, estableciendo un valor mínimo y uno máximo, y asignarle a cada factor un valor para las diferentes alternativas.
- Multiplicar los valores asignados a los factores por sus ponderaciones respectivas.
- Sumar los puntos de cada factor obtenidos en el paso anterior para cada una de las alternativas o ubicaciones, de manera que la opción a elegir sea la que tenga un mayor valor.

Este procedimiento puede resumirse con la siguiente ecuación:

$$V_j = \sum_{i=1}^m P_i F_{ij}$$

para $j = 1, 2, \dots, n$; y donde:

V_j representa el valor total para la localización j ;
 P_i la ponderación para el factor i ;
 F_{ij} valor para el factor i en la localización j ;
 n número de localizaciones; y
 m número de factores.

Se trata, como se observa, de un modelo aditivo, aunque en algún caso puede resultar más útil utilizar un modelo descriptivo multiplicado, en el que el valor para la localización j se calcularía con la fórmula:

$$V_j = \prod_{i=1}^m F_{ij}^{P_i}$$

para $j = 1, 2, \dots, n$; y donde las distintas variables mantienen el significado designado anteriormente.

3.3.3. El método del transporte.

El problema de la localización de una empresa puede formularse como un problema de programación lineal, en el cual se pretende minimizar el coste del transporte desde unos centros de producción u orígenes hasta una serie de destinos (centros de consumo, almacenes, fábricas...). Este método también es conocido como el algoritmo de Hitchcock.

El problema parte de una serie de destinos D_j ($j = 1, \dots, n$) y una serie de orígenes O_i ($i = 1, \dots, m$). Cada origen tiene asignado una cantidad de disponibilidades y cada destino una serie de necesidades.

De esta manera se intentan minimizar el coste del transporte:

$$Z(\min) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} \cdot x_{ij}$$

Se plantean las siguientes **restricciones**:

- satisfacción de las necesidades de la demanda:

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \geq D_j \quad \text{para } j = 1, 2, \dots, n$$

- disponibilidad de la oferta:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq O_i \quad \text{para } i = 1, 2, \dots, m$$

- no negatividad:

$$x_{ij} \geq 0$$

El método se basa en las siguientes **hipótesis**:

- ofertas, demandas y costes positivos o nulos:
 O_i, D_j y $C_{ij} \geq 0$
- oferta total (OT) debe ser igual a la demanda total (DT):

- Si $O_T \geq D_T \Rightarrow$ crear una demanda ficticia D_{fict} por la diferencia.
- Si $O_T \leq D_T \Rightarrow$ crear una oferta ficticia O_{fict} por la diferencia.

En ambos casos, el coste directo que se asociaría a cada una de esas casillas ficticias sería igual a 0.

Si existiera alguna ruta imposible (no se puede llevar mercancía de un origen concreto a un destino particular) la casilla correspondiente se penalizaría con un coste directo M muy alto.

Para explicar el desarrollo del algoritmo nos basaremos en un ejemplo en el que disponemos de tres orígenes o fábricas: O_1, O_2, O_3 y de cinco destinos D_1, D_2, D_3, D_4, D_5 . A cada origen se le asocia una producción posible, mientras que a los destinos se les supone una demanda dada. Dichos valores se colocan en la última columna y la última fila de la matriz inicial.

En la siguiente matriz con los datos iniciales del problema, donde se muestran en las casillas los costes directos del transporte de una unidad desde el origen i hasta el destino j .

	D1	D2	D3	D4	D5	
O1	1	2	2	5	3	15.000
O2	1	4	3	2	2	25.000
O3	3	3	2	1	1	15.000
	10.000	10.000	8.000	14.000	13.000	

Se ha de cumplir que la demanda total D_T y la oferta total O_T sean iguales. Esta condición se cumple en el ejemplo que tratamos:

$$D_T = 10.000 + 10.000 + 8.000 + 14.000 + 13.000 = 55.000$$

$$O_T = 15.000 + 25.000 + 15.000 = 55.000$$

Si no se verificara la condición inicial, como habíamos comentado en las hipótesis iniciales, se habría de colocar una fila o columna ficticia que absorbería ese exceso de demanda o de oferta.

El primer paso para buscar la solución del problema es encontrar la **solución básica**, para lo cual existen tres métodos:

- Esquina noroeste.
- Costes mínimos.
- Aproximación de Vogel.

Nosotros trataremos el **método de la esquina noroeste**, el cual es el más sencillo para la primera aproximación, aunque nos deja más alejados de la solución óptima.

El método consiste en introducir por la casilla o esquina noroeste (superior izquierda) la cantidad máxima posible de oferta en función de la demanda capaz de ser absorbida por esa casilla, completando el resto de la tabla a partir de ese valor.

La siguiente tabla muestra la distribución hecha mediante este método en el ejemplo tratado:

	D1	D2	D3	D4	D5	
O1	1 10.000	2 5.000	2	5	3	15.000
O2	1	4 5.000	3 8.000	2 12.000	2	25.000
O3	3	3	2	1 2.000	1 13.000	15.000
	10.000	10.000	8.000	14.000	13.000	

En cada casilla, además de la distribución de la oferta de cada origen para el destino correspondiente, se coloca en la esquina superior izquierda el coste directo del transporte de una unidad (C_{ij}).

Una vez que se ha realizado la primera distribución, se ha de comprobar que se cumple la condición siguiente: el número de casillas ocupadas ha de ser igual a $m + n - 1$, en este caso $3 + 5 - 1 = 7$, condición que se cumple en este caso.

Si no se diera este caso estaríamos hablando de una solución degenerada, para lo cual habría que realizar un proceso de regeneración, el cual será explicado más adelante.

Habíamos comentado que existen otros métodos para el cálculo de la solución básica. Describiremos brevemente a continuación el **método de aproximación de Vogel**:

- Calcular la diferencia entre los menores costes directos (C_{ij}) de cada fila y columna.
- Seleccionar la mayor de todas las diferencias y asignar la mayor cantidad posible a la casilla de menor coste directo.
- Eliminar, si procede, la fila o columna saturada.
- Repetir el proceso hasta que no se puedan calcular más diferencias.

El siguiente paso en la resolución del problema es la búsqueda de la solución óptima, para lo cual, al igual que ocurría con la solución básica, existen varios **métodos**:

- Método del paso a paso (Stepping Stone).
- Método de distribución modificada (MODI).
- Método de los costes indirectos.

Nosotros utilizaremos este último método, el de los **costes indirectos**. Para ello mostramos a continuación una casilla tipo (ij) de la matriz a utilizar con sus componentes:

C_{ij}	Z_{ij}
Cantidad asignada	
	W_{ij}

con los siguientes significados:

- C_{ij} = coste directo.
- Z_{ij} = coste indirecto.
- W_{ij} = coste o rendimiento marginal = $C_{ij} - Z_{ij}$.

Para proceder a la resolución nos basamos en las siguientes **premisas**:

- Las casillas ocupadas de la solución base (tabla o matriz base) tienen rendimiento marginal nulo (es decir, los costes directos e indirectos de las mismas son iguales, $C_{ij} = Z_{ij}$). Esto ocurrirá en adelante con todas las casillas que estén ocupadas.
- La diferencia de rendimientos indirectos (Z_{ij}) entre filas y/o columnas paralelas es constante.

De esta manera asignamos los costes indirectos y marginales de las casillas ocupadas y calculamos los del resto de casillas, obteniendo para el ejemplo la siguiente matriz:

	D1	D2	D3	D4	D5	
O1	1 1 10.000 0	2 2 5.000 0	2 1 1	5 0 5	3 0 3	15.000
O2	1 3 -2	4 4 5.000 0	3 3 8.000 0	2 2 12.000 0	2 2 0	25.000
O3	3 2 1	3 3 0	2 2 0	1 1 2.000 0	1 1 13.000 0	15.000
	10.000	10.000	8.000	14.000	13.000	

A continuación debemos comprobar si se ha alcanzado la solución óptima. Para ello todos los rendimientos marginales deben ser positivos o nulos (≥ 0). Sin embargo, en este caso comprobamos como la casilla (21) tiene un rendimiento marginal -2 , lo que indica que podemos ahorrarnos 2 unidades monetarias por cada unidad que enviemos por esa ruta, por lo que no estamos en la solución óptima.

Para seguir con el proceso se ha de reasignar los valores de las casillas, introduciendo en aquella con rendimiento marginal más negativo una cantidad ϑ , cuyo valor hemos de hallar, y cuadrar las asignaciones.

	D1	D2	D3	D4	D5	
O1	1 1 10.000 - ϑ 0	2 2 5.000 + ϑ 0	2 1 1	5 0 5	3 0 3	15.000
O2	1 3 ϑ -2	4 4 5.000 - ϑ 0	3 3 8.000 0	2 2 12.000 0	2 2 0	25.000
O3	3 2 1	3 3 0	2 2 0	1 1 2.000 0	1 1 13.000 0	15.000
	10.000	10.000	8.000	14.000	13.000	

Además de introducir ϑ hay que restar ese valor del resto de casillas afectadas para mantener el equilibrio. En nuestro caso ϑ valdrá 5.000 como máximo (no puede haber casillas con asignaciones negativas). Una vez introducida esta cantidad y compensadas el resto de casillas, se procede a recalcular los costes indirectos y marginales. De esta forma la matriz quedaría:

	D1	D2	D3	D4	D5	
O1	1 1 5.000 0	2 2 10.000 0	2 3 -1	5 2 3	3 2 1	15.000
O2	1 1 5.000 0	4 2 2	3 3 8.000 0	2 2 12.000 0	2 2 0	25.000
O3	3 0 3	3 1 2	2 2 0	1 1 2.000 0	1 1 13.000 0	15.000
	10.000	10.000	8.000	14.000	13.000	

De nuevo existe una casilla (1,3) con el rendimiento marginal negativo, con lo cual hay que repetir el proceso.

Se debe tener siempre en cuenta que se debe cumplir la condición $m + n - 1 = \text{número de filas ocupadas}$, ya que si no habría que regenerar, como explicaremos en el siguiente ejemplo.

	D1	D2	D3	D4	D5	
O1	1 1 5.000 - ϑ 0	2 2 10.000 0	2 3 ϑ -1	5 2 3	3 2 1	15.000
O2	1 1 5.000 + ϑ 0	4 2 2	3 3 8.000 - ϑ 0	2 2 12.000 0	2 2 0	25.000
O3	3 0 3	3 1 2	2 2 0	1 1 2.000 0	1 1 13.000 0	15.000
	10.000	10.000	8.000	14.000	13.000	

Por lo tanto de nuevo introducimos un valor ϑ en esa casilla, valor que de nuevo ha de ser igual a 5.000 (valor máximo a compensar en la casilla (1,1) y que nos dejará la matriz, según los mismos criterios del paso anterior de la siguiente manera:

	D1	D2	D3	D4	D5	
O1	1 0 0	2 2 10.000 0	2 2 5.000 0	5 1 4	3 1 2	15.000
O2	1 1 10.000 0	4 3 1	3 3 3.000 0	2 2 12.000 0	2 2 0	25.000
O3	3 0 3	3 2 1	2 2 0	1 1 2.000 0	1 1 13.000 0	15.000
	10.000	10.000	8.000	14.000	13.000	

Como se comprueba, ninguna casilla posee un rendimiento marginal negativo, además de cumplirse que el número de casillas ocupadas es igual al número de filas más el número de columnas menos uno (7 en este caso), de manera que hemos alcanzado una distribución óptima.

El coste total de esta asignación será:

$$C_T = (2 \cdot 10.000 + 2 \cdot 5.000) + (1 \cdot 10.000 + 3 \cdot 3.000 + 2 \cdot 12.000) + (1 \cdot 2.000 + 1 \cdot 13.000)$$

$$C_T = 88.000 \text{ u.m.}$$

Puede existir una distribución alternativa con el mismo coste, pero no con un coste inferior.

A continuación mostraremos un ejemplo en el que exista **degeneración** (no se cumple que el número de casillas asignadas es igual a $(m+n+1)$) y explicaremos el proceso a seguir en estos casos.

Supongamos un problema que nos lleva a la siguiente matriz con los datos orígenes del problema:

	D1	D2	D3	
O1	7	8	8	4
O2	3	7	2	3
O3	9	5	10	3
	2	2	6	

donde los valores de las casillas (i,j) representan los costes directos unitarios de transportar una unidad desde el origen i hasta el destino j, mientras que la última columna representa la cantidad de producción u oferta del origen i y la última columna la cantidad de demanda del destino j, como ya sabíamos.

Se observa que la oferta total es igual a la demanda total, por lo que no hay que introducir ningún origen ni destino ficticio.

De esta forma pasamos a realizar la primera asignación para determinar la solución básica mediante el método de la casilla noroeste, con lo cual obtenemos la siguiente tabla:

	D1	D2	D3	
O1	7 2	8 2	5	4
O2	3	7	2 3	3
O3	9	5	10 3	3
	2	2	6	

Se observa como en este caso el número de casillas ocupadas (4) no es igual a $m + n - 1 = 3 + 3 - 1 = 5$, con lo cual existe degeneración.

Debemos por lo tanto ocupar una casilla para cumplir dicha condición básica. Para ello se introduce en una casilla una cantidad ϵ (pequeña y despreciable) sin significado económico pero de utilidad algorítmica.

En principio podría introducirse en cualquier casilla, pero para introducir épsilon (ϵ) se sigue el siguiente criterio:

1. se aplica el método de los costes indirectos hasta que sea posible.
2. la ϵ se introduce en la casilla de menor coste directo de las que han quedado sin poder calcular el coste indirecto.
3. si hace falta más de un ϵ , se utilizarán $\epsilon_1, \epsilon_2, \dots$

	D1	D2	D3	
O1	7 7 2 0	8 8 2 0	5	4
O2	3	7	2 2 3 0	3
O3	9	5	10 10 3 0	3
	2	2	6	

En este caso la casilla con menor coste directo es la (2,1), luego en ella introduciremos épsilon. En esa casilla se cumplirá que el rendimiento marginal es igual a cero, y a partir de ahí continuaremos rellenando la tabla.

	D1	D2	D3	
O1	7 7 2 0	8 8 2 0	5 6 -1	4
O2	3 3 ϵ 0	7 4 3	2 2 3 0	3
O3	9 11 -2	5 12 -7	10 10 3 0	3
	2	2	6	

Observamos que existen costes marginales negativos, con lo cual no hemos llegado a la solución óptima, de manera que hay que introducir una cantidad θ en la casilla con rendimiento marginal más negativo (3,2) y seguir aplicando el método de los costes indirectos hasta alcanzar la solución óptima.

Dando a θ el valor 2 de la casilla (1,1) obtendríamos la siguiente tabla, en la que ya no existe degeneración:

	D1	D2	D3	
O1	7 7 2 0	8 0 8	5 5 2 0	4
O2	3 3 0	7 -3 10	2 2 3 0	3
O3	9 12 θ -3	5 5 2 0	10 10 1 0	3
	2	2	6	

Al existir un coste marginal negativo (3,1) debemos seguir desarrollando el método de los costes indirectos hasta alcanzar la solución óptima, lo cual se muestra en las siguientes tablas:

	D1	D2	D3	
O1	7 1 0	8 3 5	5 5 3 0	4
O2	3 0 -1	7 0 7	2 2 3 0	3
O3	9 1 0	5 2 0	10 7 0 3	3
	2	2	6	

	D1	D2	D3	
O1	7 6 1	8 2 6	5 5 4 0	4
O2	3 1 0	7 -1 8	2 2 2 0	3
O3	9 1 0	5 2 0	10 8 2	3
	2	2	6	

Hemos llegado en esta última tabla a la distribución óptima, con un coste total de 46 u.m.

Como resumen al método de transporte mostramos a continuación el esquema básico del algoritmo para la resolución de este tipo de problemas:

A continuación mostramos una serie de problemas cuya solución se propone calcular al lector empleando el método descrito.

Problema 1.

Las fábricas F1 y F2 de una empresa suministran un producto a los almacenes distribuidores A1, A2 y A3, de la misma empresa. La capacidad máxima de fabricación de F1 y F2 es, respectivamente, de 400.000 y 250.000 unidades, y las necesidades de los almacenes receptores asciende, respectivamente, a 100.00, 150.000 y 300.000 unidades. Además, dada la escasa producción de la fábrica 2, ésta debe trabajar al 100% de su capacidad y no es posible que traslade unidades al almacén 3, ya que no existen rutas por las que puedan pasar los camiones.

Los productos se transportan en cajas de 100 unidades y los costes originados por el traslado de una caja pueden considerarse proporcionales a las distancias entre los puntos de origen y los destinos, los cuales aparecen en la tabla siguiente.

	A1	A2	A3
F1	10	30	20
F2	5	15	-

De acuerdo con la información anterior, se desea conocer la distribución óptima que minimice los costes del transporte.

Problema 2.

Las ciudades de Barcelona, Madrid, Valencia y Sevilla cuentan cada una con un acuario abastecido por una empresa que dispone de cuatro piscifactorías.

La demanda de los acuarios localizados en Barcelona, Madrid, Valencia y Sevilla es de 15.000, 10.000, 45.000 y 25.000 peces respectivamente y la capacidad de producción de cada una de las factorías de peces es de:

- Piscifactoría 1 = 10.000
- Piscifactoría 2 = 35.000
- Piscifactoría 3 = 25.000
- Piscifactoría 4 = 25.000

Asimismo se sabe que los costes de transporte desde las diferentes piscifactorías a los distintos acuarios varía considerablemente. El traslado de un pez de cada una de las piscifactorías hasta Barcelona supone un coste de 2, 0, 10 y 5 u.m. por unidad respectivamente; sin embargo, los costes unitarios en los que se incurre por el traslado de un pez de cada piscifactoría hasta Madrid son de 3, 11, 20 y 7 u.m. respectivamente. Mientras que si el recorrido es hasta Valencia, dichos costes unitarios ascenderán a 2, 12, 30 y 7 u.m. respectivamente. Por último el transporte de los peces hasta Sevilla supone unos costes unitarios de 5, 17, 40 y 11 u.m. respectivamente.

Se pide plantear, resolver e interpretar el problema de transporte asociado a la situación expuesta.

Problema 3.

Una empresa debe abastecer a tres zonas geográficas, Z1, Z2 y Z3, que demandan respectivamente 4.000.000, 2.000.000 y 6.000.000 unidades físicas semanales. Para ello la empresa cuenta con dos centros suministradores, S1 y S2, de capacidades máximas respectivas de 2.000.000 y 5.000.000 unidades físicas semanales.

Dada la escasa demanda de las zonas 1 y 2, la empresa se ha propuesto suministrarle todas las unidades solicitadas. Siendo los costes unitarios de transporte, expresado en miles de unidades monetarias, los que se muestran en la siguiente tabla, plantear y resolver el plan de distribución óptimo.

	Z1	Z2	Z3
S2	3	15	18
	2	20	10

3.4. La localización en las empresas de servicios/detallistas y profesionales.

Para la localización de estas empresas, el factor fundamental es, como en el resto, la maximización de ingresos, para lo cual se han de considerar:

- El volumen del negocio.
- Los ingresos potenciales en la zona.

Estos aspectos vendrán a su vez influenciados por una serie de factores, entre los que se pueden destacar:

- El poder de compra de los consumidores del área.
- El servicio e imagen compatible con la demografía de los consumidores del área.
- La competencia en el área.
- La calidad en el área.
- Las particularidades de las localizaciones de la empresa y de los competidores.
- La calidad física de las instalaciones y negocios vecinos.
- Las políticas de operaciones de la empresa.
- La calidad de la gestión.

4. La distribución en planta del proceso productivo (Layout).

4.1. Introducción.

4.2. Objetivos de la distribución en planta.

4.3. Diseños básicos de la distribución en planta.

4.3.1. Distribución por posición fija.

4.3.2. Distribución orientada a proceso.

4.3.3. Distribución orientada a producto.

a. El equilibrado de línea.

4.3.4. Comparación de distribuciones.

4.1. Introducción.

Se denomina **distribución en planta** a la ordenación de los espacios, puestos de trabajo e instalaciones de una fábrica, con el fin de conseguir que los proceso de fabricación o la prestación de los servicios se lleve a cabo de la forma más racional y económica posible (logrando una circulación racional, más corta y sin retrocesos, aumentando de esta forma la productividad).

Una vez determinado el proceso productivo y la tecnología adecuada, hay que establecer la ubicación de las diferentes máquinas e instalaciones en la planta de producción.

El criterio básico para fijar la distribución más adecuada se basa en la reducción de costes asociados a dicha distribución, aunque pueden existir otras razones ligadas a la seguridad (ubicación de materiales inflamables, por ejemplo).

En cualquier instalación fabricante de bienes ó prestadora de servicios, además del criterio básico anterior, hay que hacer las siguientes **consideraciones**:

- El edificio debe tener posibilidad de ampliación para una previsible expansión de la empresa y mejora de las instalaciones.
- Ambiente satisfactorio, con condiciones ambientales adecuadas para los trabajadores y servicios de asistencia y descanso.
- Condiciones de seguridad, como puertas de emergencia, equipos de protección contra incendios, etc.

Adicionalmente, en el caso de empresa de servicios, es necesario considerar:

- Comodidad para los clientes durante el servicio.
- Ambiente y decoración atractivos.

Para dar respuesta a estas **consideraciones** y tratar de resolverlas, debemos tener en cuenta:

- Los objetivos del negocio, relativos a su expansión, naturaleza y número de productos, así como su peso y volumen.
- La dimensión de la demanda, procesos y equipos a utilizar, servicios necesarios, etc.
- Las reglamentaciones existentes en materia de Seguridad e Higiene.

Una correcta distribución en planta consigue los siguientes **beneficios**:

- **Se facilita el proceso de fabricación**; ya que la distribución se acomoda a la

mejor circulación de los materiales más importantes.

- **Se aumenta la capacidad de producción;** al mejorar la distribución y evitando de esta forma los cuellos de botella.
- **Se reduce al mínimo el movimiento de materiales;** lo cual es consecuencia de disminuir la reducción de distancias, del número de transportes, de la combinación de operaciones, etc.
- **Disminuye el material en curso de fabricación;** al acortar el tiempo que dura la fabricación.
- **Proporciona seguridad y confort al personal;** ya que se debe procurar la distribución óptima de los puestos de trabajo, tanto en situación como en seguridad, iluminación, ventilación, etc.

Las causas que originan la necesidad de realizar una distribución en planta pueden ser variadas:

- Cuando se proyecta una nueva fábrica.
- Cuando la fábrica funciona defectuosamente (existiendo acumulaciones de semielaborados, movimientos excesivos de materiales, esperas que alarguen innecesariamente el tiempo de producción, etc.).
- Cuando se modifican los productos fabricados (variando los productos o modelos, o simplemente la cantidad de los mismos).
- Cuando se introducen cambios tecnológicos, que originan nuevas distribuciones.

Estos tres últimos casos son más exactamente redistribuciones, las cuales presentan más dificultades que una distribución en planta nueva.

4.2. Objetivos de la distribución en planta.

- **Integración total.** Entre los elementos básicos de producción (hombres, máquinas, materiales...), logrando una mejor coordinación entre ellos.
- **Minimizar el flujo de materiales,** personas, etc., entre los diversos departamentos o áreas de la empresa. Los movimientos de materiales y semifabricados sólo originan costes, por lo que hay que procurar que los movimientos sean mínimos, sin demoras, retrocesos o cambios de dirección, disminuyendo así el tiempo de fabricación, su coste y el volumen de materiales en proceso.
- **Alta utilización del espacio disponible,** teniendo también si es posible prevenciones de posibles ampliaciones futuras.
- **Alcanzar cierto grado de flexibilidad en el producto,** con fin de poder adaptarse a posibles cambios de las variables del entorno.
- **Equilibrar el sistema de operaciones,** de manera que no existan cuellos de botella y el trabajo se distribuya de manera equitativa, con un flujo continuo y sin demoras del material.
- **Seguridad, comodidad y apariencia.** La distribución debe disponerse teniendo en cuenta la máxima seguridad y satisfacción de los trabajadores, influyendo esto positivamente en la mejora de la producción.

4.3. Diseños básicos de distribución en planta.

Existen tres diseños básicos de distribución en planta:

- Distribución de posición fija.
- Distribución orientada hacia el proceso.
- Distribución orientada hacia el producto.

4.3.1. Distribución por posición fija.

Es aquella en la que el producto, debido a su volumen o peso, permanece inmovilizado en un lugar y los medios de fabricación han de situarse alrededor del producto, siguiendo ciertos criterios, como por ejemplo su secuencia de aplicación o su dificultad para moverlos. Se aplica a empresas cuyo tipo de proceso sea por proyecto.

Algunos ejemplos de este tipo de distribución son los astilleros (en el que los medios de producción y procesos se han de situar en torno al casco del barco), proyectos de construcción de edificios e infraestructuras (en los cuales existen espacios destinados a oficinas, almacenes, maquinarias, etc.), construcción de aviones, etc.

Los **inconvenientes** que puede presentar una distribución de este tipo son:

- El espacio puede ser extremadamente limitado para colocar los componentes. Una alternativa que se está empleando es la construcción de gran parte del proyecto fuera de las instalaciones, para posteriormente montar los módulos siguiendo un proceso en serie.
- En las diferentes etapas del proyecto se necesitan diferentes componentes y en cantidades variables. Por lo tanto es necesario una programación dinámica más que estática, que considere el movimiento de las piezas hasta el emplazamiento principal de montaje.
- Dificultad para utilizar equipos difíciles de mover.

En cuanto a las **ventajas** se pueden citar:

- Poca manipulación de la unidad principal.
- Alta flexibilidad.

4.3.2. Distribución orientada a proceso.

Los componentes se hallan agrupados de acuerdo a la función general que cumplen, sin consideración especial hacia ningún producto en particular. Cada servicio/producto o grupo reducido de ellos presentan una secuencia de operaciones diferente y son trasladados de un departamento a otro en la secuencia requerida para su finalización.

De esta forma las operaciones y equipos se agrupan en distintas áreas, dependiendo de la función general que cumplen, por las que pasan los productos según requiera esa actividad en cuestión.

Resulta eficiente cuando se presta o fabrican servicios/productos que presentan diferentes requerimientos, o cuando se trata con clientes con distintas necesidades. Se aplica a los procesos de producción de taller de servicio o taller artesanal y en lotes.

Un ejemplo de layout orientado al proceso podría ser el de un hospital, donde el flujo de pacientes, cada uno con sus necesidades, realiza una ruta determinada.

Como **ventajas** de este sistema se destacan:

- Flexibilidad en la asignación de equipos y mano de obra. Una falta de alguno de ellos no origina una paralización de todo el proceso, ya que el mismo es transferido a otra persona o equipo.
- Menores inversiones en equipos.
- El fallo de una máquina o suministro no implica la parada del proceso.
- Diversidad de tareas asignadas a los trabajadores.
- La supervisión por áreas de trabajo adquiere amplios conocimientos y pericia sobre las funciones bajo su dirección.
- Posibilidad de individualizar rendimientos.

Como **desventajas** se pueden citar:

- Necesidad de más tiempo para moverse dentro del sistema, debido a la dificultad de puesta en marcha y complejidad de la programación y manipulación de materiales.
- La cualificación elevada de la mano de obra, haciéndose necesario aumentar el nivel de formación y experiencia de la misma.
- El inventario de productos en curso es alto, debido a los desequilibrios del proceso de producción, aumentando el capital invertido, con lo que baja la eficiencia del manejo de materiales y aumentan los costes por unidad de producto.
- Baja productividad.
- Dificultad de planificar y controlar la producción.

El objetivo principal en este sistema es **minimizar el coste de manipulación**, para lo cual se ubicarán los centros de trabajo que tengan relaciones entre sí lo más cerca posibles unos de otros, de manera que el flujo de materiales y personas entre departamentos sea mínimo, intentando minimizar la diversidad de flujo de materiales entre áreas y la variación de la producción.

La función de coste de manipulación se representa por:

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N T_{ij} \cdot C_{ij} \cdot D_{ij}$$

siendo:

T_{ij} = número de viajes entre los departamentos 'i' y 'j'.

C_{ij} = coste por unidad de distancia.

D_{ij} = distancia entre 'i' y 'j'.

N = número de departamentos.

4.3.3. Distribución orientada a producto.

Los diversos componentes se ordenan de acuerdo con las etapas progresivas a través de las cuales avanza el producto en el proceso de fabricación. Se aplica a los procesos en serie/masa y continuo (donde existe gran cantidad y poca variedad). De esta forma, los puestos se colocan en el orden en que se suceden las operaciones, moviéndose el producto de un punto a otro.

Como ejemplo de este tipo de sistema se podría hablar de las cadenas de montaje de automóviles, electrodomésticos, etc.

El objetivo principal de este sistema de distribución es lograr el **equilibrio de la línea**, entendiendo éste como la creación de un flujo continuo y estable a lo largo de la misma, optimizando las instalaciones y repartiendo de forma equitativa las cargas del trabajo entre la mano de obra o estaciones de trabajo, es decir, se ha de equilibrar el flujo de producto de un área a la siguiente, creando un flujo continuo y estable a lo largo de la línea.

Se denomina estación de trabajo o puesto de trabajo a un lugar específico para llevar a cabo una tarea predefinida, el cual suele estar a cargo de un operario.

Las principales **ventajas** de este sistema son:

- Bajo coste unitario asociado a la fabricación de productos, al estar tratando generalmente con grandes cantidades.
- Reducción de manipulación de materiales.
- Disminución de inventarios de productos semifabricados o en curso.
- Simplicidad en la formación y supervisión de empleados y en sus tareas.
- Mínimos tiempos de fabricación.
- Simplificación de los sistemas de planificación y control de la producción.

En cuanto a las **desventajas**, cabe destacar:

- Debido a las grandes inversiones que suele necesitar en equipos específicos, es necesario que la producción sea también elevada.
- Una avería en una estación de trabajo paralizaría generalmente la totalidad del proceso, así como la falta de personal en alguna de las estaciones de trabajo.
- La falta de flexibilidad a la hora de variar el tipo de producto o su cantidad, así como en los tiempos de fabricación.
- Trabajos muy monótonos.

a. El equilibrado de línea.

El objetivo de este proceso es dividir la línea en estaciones o puestos de trabajo cuya carga se encuentre bien ajustada, asignando operaciones a las estaciones con el objetivo de lograr la producción deseada con el menor número de estaciones posibles.

Pasos para equilibrar la línea:

Paso 1. Definición de tareas e identificación de precedencias.

Para explicar el equilibrado de línea nos basaremos en un ejemplo. Supongamos que tenemos un proceso formado por una serie de tareas elementales (A, B, C, ...), a cada una de las cuales se ha asignado (normalmente por observación, experiencia, etc.) una serie de tiempos estándar.

Una vez definidas las tareas y su duración hay que identificar el orden de las mismas, identificando las tareas que preceden a cada una.

Otros datos necesarios son:

- jornada laboral (7 horas en el ejemplo tratado).
- producción diaria (supondremos 500 unidades).

En la siguiente tabla se muestran las distintas tareas elementales, tiempos estándar y las operaciones precedentes, así como la representación mediante un gráfico de mallas (teoría de grafos) del proceso productivo.

Tareas Elementales	Tiempo Estándar (segundos)	Operación Precedente
A	45	-
B	11	A
C	9	B
D	50	-
E	15	D
F	12	C
G	12	C
H	12	E
I	12	E
J	8	F,G,H,I
K	9	J

Paso 2. Cálculo del número mínimo de estaciones de trabajo.

- Cálculo del tiempo del ciclo (TC).

$$\max t_i \leq TC \leq \sum_{i=1}^n t_i \Rightarrow 50 \leq TC \leq 195$$

$$TC = \frac{\text{Tiempo disponible}}{\text{Produccion}} = \frac{7 \cdot 3600}{500} = \frac{25200}{500} = 50,4 \text{ seg.}$$

- Cálculo del mínimo número de estaciones teórico (MT).

$$MT = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{TC} = \frac{195}{50,4} = 3,869 \approx 4$$

- Comprobar si el número de estaciones (n) coincide con el MT.

- minimizar el tiempo ocioso.

$$t_o = n \cdot TC - \sum_{i=1}^n t_i$$

- maximizar la eficiencia.

$$E(\%) = \frac{100 \cdot \sum_{i=1}^n t_i}{n \cdot TC}$$

- minimizar el retraso.

$$R(\%) = 10 - E$$

Cada una de las estaciones ha de tener un tiempo inferior al TC calculado. Para determinar el número de estaciones de trabajo y las tareas asignadas a cada una se realiza el siguiente paso.

Paso 3. Asignación de las tareas a las estaciones de trabajo.

Para asignar las tareas a las estaciones y determinar el número de éstas existen dos alternativas, eligiéndose como resultado aquella asignación que presente un tiempo ocioso menor y una eficiencia mayor.

Hay que tener en cuenta que un puesto de trabajo tendrá un número de tareas tal que la sumatoria de tiempos de dichas tareas no sea superior al tiempo del ciclo. Cuando ese tiempo se supere, la tarea que provoque ese aumento pasará al siguiente puesto de trabajo.

Alternativa 1.

Asignación de las tareas que den lugar a un mayor número de tareas siguientes, tomando como segunda opción la asignación de tareas de mayor duración.

En la siguiente tabla se muestra el desarrollo de este proceso en el ejemplo considerado.

Puesto de trabajo	Operación factible	Mayor nº subsig.	Mayor duración	Operación seleccionada	Tiempo	Tiempo ocioso
1	A,D	A	-	A	45	5,4
2	B,D	B,D	D	D	50	0,4
3	B,E	B	-	B	11	39,4
	C,E	C,E	E	E	15	24,4
	C,H,I	C	-	C	9	15,4
	F,G,H,I	F,G,H,I	F,G,H,I	F	12	3,4
4	G,H,I	G,H,I	G,H,I	G	12	38,4
	H,I	H,I	H,I	H	12	26,4
	I	-	-	I	12	14,4
	J	-	-	J	8	6,4
5	K	-	-	K	9	41,4

En esta asignación el tiempo ocioso es:

$$t_o = 5 \cdot 50,4 - 195 = 57$$

Por otro lado la eficiencia de la asignación será:

$$E = \frac{100 \cdot 195}{5 \cdot 50,4} = 77\%$$

Alternativa 2.

Asignación de las tareas de mayor duración, tomando como segunda opción las tareas que den lugar a un mayor número de tareas siguientes.

En la siguiente tabla se muestra el desarrollo de este proceso en el ejemplo considerado.

Puesto de trabajo	Operación factible	Mayor duración	Mayor nº subsig.	Operación seleccionada	Tiempo	Tiempo ocioso
1	A,D	D	-	D	50	0,4
2	A,E	A	-	A	45	5,4
3	B,E	E	-	E	15	35,4
	B,H,I	H,I	H,I	H	12	23,4
	B,I	-	-	I	12	11,4
	B	-	-	B	11	0,4
4	C	-	-	C	9	41,4
	F,G	F,G	F,G	F	12	29,4
	G	-	-	G	12	17,4
	J	-	-	J	8	9,4
	K	-	-	K	9	0,4

En esta asignación el tiempo ocioso es:

$$t_0 = 4 \cdot 50,4 - 195 = 6,6$$

Por otro lado la eficiencia de la asignación será:

$$E = \frac{100 \cdot 195}{4 \cdot 50,4} = 96,7\%$$

Como se observa esta asignación es más eficiente que la primera y por lo tanto será la que debemos elegir.

A continuación se muestran algunos problemas cuya solución se propone calcular al lector:

Problema 1.

Una empresa dedicada a la fabricación de tableros de ajedrez emplea un proceso productivo que consta de siete etapas. La distribución de tareas y los tiempos (en minutos) empleados en cada una se muestran en la siguiente tabla.

Operación	Tiempo	Precedente
A	3	-
B	4	A
C	10	-
D	8	A
E	9	D
F	12	B
G	6	E,F,C

Sabiendo que se pretende obtener una producción de 6 tableros al día con una jornada laboral de 8 horas, equilibrar la línea con tres puestos de trabajo.

Problema 2.

Una empresa de fabricación de muebles trabaja durante 7 horas al día. El director de operaciones de la empresa ha realizado un equilibrado de la línea para su cadena de montaje con un tiempo del ciclo de 45 minutos. Las tareas que se realizan en el departamento de fabricación, así como sus relaciones de precedencia y sus tiempos de duración en minutos se muestran en la siguiente tabla:

Operación	Tiempo	Precedente
1	25	-
2	10	1
3	15	1
4	12	2,3
5	14	4
6	8	4
7	10	5,6
8	12	7

Se pide:

- realizar la representación gráfica de las tareas.
- comprobar si el número mínimo de estaciones de trabajo coincide con el número de estaciones obtenidas.
- ¿cuál es la productividad de la línea, el tiempo ocioso y el retraso del equilibrado?.
- ¿cuál es la producción máxima a obtener en un período de cinco días?.
- ¿cuál es el valor mínimo del tiempo del ciclo?.

Problema 3.

Una empresa se dedica a la fabricación de aparatos de radio estandarizados para cuya realización se necesitan las actividades que se muestran a continuación.

Operación	Tiempo minuto s	Precedente
A	10	-
B	12	A
C	21	F
D	13	A
E	8	D,B,C
F	15	-
G	11	E
H	10	E
I	14	H,G

Contestar a las siguientes preguntas:

- Si las actividades están agrupadas en 3 estaciones de trabajo y la eficiencia es del 100% ¿cuál es el tiempo del ciclo?.
- Si el tiempo del ciclo es de 22 minutos, ¿cuál es el número mínimo de estaciones de trabajo?.
- ¿se podría obtener una producción de 25 aparatos de radio en 7 horas con el tiempo de ciclo del aparato anterior?.
- Se quiere obtener una producción de 84 radios en 5 días laborales, siendo la jornada de 7 horas diarias. Agrupar las diferentes tareas con el objetivo de

equilibrar la línea, asignando primero las tareas que den lugar a un mayor número de tareas subsiguientes, completándolo si es necesario con la asignación de la tarea de mayor duración.

4.3.4. Comparación de distribuciones.

	POR PRODUCTO	POR PROCESO	POR POSICIÓN FIJA
Producto	Estandarizado. Alto volumen de producción. Tasa de producción constante.	Diversificados. Volúmenes de producción variables. Tasas de producción variables.	Normalmente bajo pedido. Volumen de producción bajo (con frecuencia una sola unidad).
Flujo de trabajo	Línea continua o cadena de producción. Todas las unidades siguen la misma secuencia de operaciones.	Flujo variable. Cada ítem puede requerir una secuencia de operaciones propia.	Mínimo o inexistente. El personal, la maquinaria y los materiales van al producto cuando se necesitan.
Mano obra	Altamente especializada y poco cualificada. Capaz de realizar tareas rutinarias y repetitivas a ritmo constante.	Fundamentalmente cualificada, sin necesidad de estrecha supervisión y moderadamente adaptable.	Alta flexibilidad de la mano de obra (la asignación de tareas es variables).
Capital	Elevada inversión en procesos y equipos altamente especializados.	Inversiones más bajas en procesos y equipos de carácter general.	Equipos y procesos móviles de carácter general.
Coste por producto	Costes fijos relativamente altos. Bajo coste unitario por mano de obra y materiales.	Costes fijos relativamente bajos. Alto coste unitario por mano de obra y materiales.	Costes fijos relativamente bajos. Alto coste unitario por mano de obra y materiales.