

Capítulo 6 Distribución en planta

6.1 Conceptos

6.1.1 Introducción

Concepto. Puntos de contacto y diferencias entre las decisiones de localización y las de distribución

No existe una frontera bien definida entre los problemas de localización y los de distribución en planta. De hecho, algunos de los ejemplos presentados en el capítulo sobre localización (ver *figuras 5.1.3.5 a 5.1.3.8*) son problemas sencillos de distribución en planta.

En el fondo, diseñar una distribución en planta consiste en determinar la posición, en cierta porción del espacio, de los diversos elementos que integran el proceso productivo. Se trata, por tanto, de un problema de localización, pero especialmente complejo por el elevado número de unidades a tener en cuenta y porque hay interacción entre ellas.

Pero existen, además, diferencias cualitativas. Por una parte, en las distribuciones en planta es esencial tener en cuenta explícitamente la extensión, e incluso la forma, de los elementos que intervienen, mientras que en los problemas de localización este aspecto no se considera o se trata, como se ha visto, de forma muy esquemática. Por otra, para las decisiones de localización los emplazamientos son un dato, en tanto que, muchas veces, cuando se trata de determinar una distribución en planta se ignora la forma y características del edificio, puesto que ello es precisamente uno de los resultados del estudio de la distribución.

Finalmente, los criterios para evaluar y comparar distribuciones en planta no son, como es lógico, los mismos que se utilizan en las decisiones de localización.

En definitiva resulta que el diseño de una distribución en planta es un problema muy complejo, que exige la intervención de especialistas en disciplinas diversas. No basta un

conocimiento de los métodos y las técnicas específicos de la distribución, sino que se necesita información sobre el proceso y sobre los equipos para llevarlo a cabo (muy especialmente sobre los de manutención) y además se ha de atender a diversas exigencias ambientales (iluminación, ventilación, etc.) e incluso estéticas. Desde luego, para abordar con perspectivas de éxito distribuciones en planta de envergadura una amplia experiencia debe considerarse como requisito.

Algunas clasificaciones de los problemas de distribución en planta

La variedad de sistemas y de circunstancias induce una gran diversidad en los problemas de distribución en planta.

Dichos problemas pueden clasificarse en atención al tipo de sistema o subsistema productivo de que se trate. Desde este punto de vista cabe distinguir entre distribuciones en planta de *oficinas*, de *almacenes*, de *venta*, de *servicios* y de *producción*, en sentido estricto. A estas últimas se refiere, con preferencia, este texto, pero la mayor parte de conceptos son aplicables también a los otros tipos de distribución, sin perjuicio de aquello que tengan de específico. Una distribución en planta para almacenamiento debe permitir itinerarios simples y poco costosos y facilitar la rotación de los stocks; el apartado sobre localización incluye diversos modelos que pueden ser útiles para determinar distribuciones adecuadas en almacenes. En los establecimientos de venta al público, especialmente en los que funcionan en régimen de autoservicio, como los supermercados, la distribución en planta ha de facilitar la tarea de los compradores, pero debe ser también un factor de estímulo de las ventas.

En las distribuciones en planta para sistemas productivos (en el sentido más estricto y excesivamente restrictivo de este término: transformación y montaje) se puede distinguir entre las siguientes:

- de *proyecto singular*,
- de *posición fija*,
- por *grupos de trabajo*,
- por *proceso* u *orientadas al proceso*,
- por *producto* u *orientadas al producto*.

En el caso de proyecto singular se trata de un conjunto de actividades con algún o algunos aspectos irrepetibles, como ocurre en la construcción de una carretera o la de una presa. Obsérvese que estos dos ejemplos presentan algunas diferencias significativas: en la construcción de una carretera algunos elementos tendrán, dentro de ciertos límites, posiciones fijas a lo largo de toda la realización del proyecto (por ejemplo, la zona de

clasificación y almacenaje de áridos, la planta asfáltica, etc.) en tanto que otros (la maquinaria para el movimiento de tierras, etc.) se desplazan a medida que progresan los trabajos; en cambio, en la construcción de una presa predominan los elementos que se sitúan en posiciones fijas o que varían poco.

El ejemplo de la presa tiene muchos puntos de contacto con las distribuciones en planta de posición fija (astilleros, montaje de aviones o proyectiles dirigidos de grandes dimensiones, *plató* cinematográfico, etc.). Estas tienen la característica común de que con ellas se puede obtener, a lo largo del tiempo, un número elevado de unidades de producto, lo que, por otra parte, es una condición necesaria para su rentabilidad. Por lo demás, pueden presentar diferencias significativas ya que, por ejemplo, las exigencias no son las mismas cuando se trata de producir unidades idénticas que cuando hay variaciones más o menos importantes de unas unidades a otras.

No es éste el lugar adecuado para una discusión extensa sobre los motivos que han impulsado la organización del trabajo en grupos autónomos, pero probablemente el más importante de todos ellos es la capacidad de esta forma de organización para adaptarse a situaciones nuevas. El concepto pareció implantarse con fuerza hace al menos dos décadas y tuvo inicialmente menos éxito del que se le auguró, mas últimamente parece cobrar nuevos bríos a la par que crece la exigencia de flexibilidad para una buena parte de los sistemas productivos. Por supuesto, esta forma de organización tiene implicaciones en lo que respecta a la distribución en planta (en muchos casos la disposición recordará la de una distribución por posición fija repetida un cierto número de veces).

En las distribuciones en planta orientadas al proceso, los componentes del sistema productivo se agrupan de acuerdo con la función que desempeñan (un taller mecánico que produce piezas bajo pedido, un taller de reparación de vehículos, un hospital, etc. suelen tener distribuciones en planta de este tipo). El movimiento de materiales resulta en general complejo y caro pero se obtiene así flexibilidad y fiabilidad.

En las orientadas al producto, los elementos que integran el sistema se disponen a lo largo de la trayectoria que siguen los materiales, desde que se inicia el proceso hasta que se obtiene el producto terminado. Estas distribuciones en planta son las características de productos de gran serie (como los automóviles o los electrodomésticos) pero hay otros ejemplos menos obvios o menos conocidos, como los restaurantes de autoservicio (sistema de montaje flexible con manutención llevada a cabo por el propio cliente) o los quirófanos para operaciones estándar (curación de la miopía por medio de microincisiones en la córnea). En cualquier caso, los movimientos son sencillos y baratos, pero el sistema a veces es poco flexible y en general es poco fiable, salvo que, a costa de una mayor inversión, se disponga de elementos redundantes.

La clasificación de distribuciones en planta de sistemas productivos que se acaba de

comentar resulta algo incompleta y, por otra parte, atiende casi exclusivamente a un aspecto, a saber, el movimiento de materiales, que puede ser el más importante pero que no es desde luego el único. De todas formas, se volverá sobre ello más adelante.

6.1.2 Un método para el diseño de distribuciones en planta

Descripción general

Sólo con lo dicho hasta aquí debe estar claro que el diseño de una distribución en planta es un proceso largo y complejo, en el que hay que tener en cuenta un gran número de aspectos y de criterios, por lo que no cabe esperar que existan recetas o procedimientos más o menos automáticos o automatizables para resolver el problema. Pero, por los mismos motivos, es obvia la necesidad de disponer de un método, de un camino a seguir, una forma ordenada y sistemática de proceder para alcanzar el fin perseguido. Una vez más, la adopción de un punto de vista cartesiano para abordar un problema de organización se revela altamente fructífera.

Como sucede en problemas de análoga complejidad (piénsese en el análisis de sistemas de información) no existe un único método, un único camino y, por otra parte cabe la posibilidad, incluso para una aplicación concreta, de establecer variantes más o menos importantes del método adoptado. Pero es importante que uno sirva de base y de ellos el más conocido es sin duda, y con mucho, el SLP (de *Systematic Layout Planning*), debido a Richard Muther, que ha tenido numerosas aplicaciones y ha sido descrito en diversas publicaciones.

El diagrama de bloques de la *figura 6.1.2.1* da una visión general del SLP.

El estudio empieza con la recogida de información sobre productos, cantidades, proceso y servicios. Esta información deberá incluir los datos referentes al momento actual, si se trata de un sistema productivo en funcionamiento, pero en cualquier caso debe incluir elementos que permitan efectuar previsiones.

Con esta información, se procede, por una parte, al estudio de la circulación de materiales (bloque 1) y, por otra, al de las relaciones entre actividades que no implican movimiento de materiales o en que este movimiento es insignificante (bloque 2). La importancia relativa de ambos aspectos es muy variada; desde sistemas como los procesos de manufactura en que el movimiento de materiales es predominante hasta otros como una oficina es que tiene muy poca importancia o incluso es prácticamente inexistente.

Ambos estudios confluyen en la actividad correspondiente al bloque 3 del diagrama: establecer el denominado diagrama de relaciones, un instrumento para expresar

sinécticamente la evaluación de la importancia de los intercambios entre los diversos centros de actividad.

El diagrama de relaciones no incluye ninguna estimación de las necesidades de espacio. Estas han de ser evaluadas (bloque 4) y también se ha de tener en cuenta, naturalmente, el espacio disponible (bloque 5) para establecer el diagrama relacional de espacios (bloque 6) que incorpora al diagrama de relación información sobre la superficie que deberá ser asignada a cada centro de actividad.

El diagrama de relación de espacios es la base para generar diversas distribuciones en planta (bloque 9), para lo que se habrá de considerar los factores influyentes y las limitaciones prácticas (bloques 7 y 8, respectivamente).

Aunque más adelante se volverá sobre ello, conviene señalar aquí la importancia de obtener un cierto número de soluciones suficientemente variadas. Ni siquiera en los casos más simples un problema de distribución en planta tiene una solución única y la calidad de unas u otras puede ser muy distinta; una solución mala puede parecer en un momento dado la mejor posible porque se ha elegido mal el esquema básico de la distribución y no han sido consideradas otras opciones.

Finalmente, se procederá a la selección de una distribución (bloque 10) entre las obtenidas en la fase anterior.

En el conjunto, cabe distinguir tres fases: la de análisis (bloques 1 a 5), la de búsqueda (bloques 6 a 9) y la de selección, constituida por el bloque 10.

El diagrama no refleja una importante característica del SLP, a saber, su carácter jerárquico. En definitiva lo que se ha descrito hasta aquí es un procedimiento para asignar espacios a lo que se ha denominado, sin precisar el alcance de esta expresión, centros de actividad. Tales centros pueden ser desde grandes departamentos o secciones hasta puestos de trabajo, pero en un sistema de grandes dimensiones no es posible ni conveniente entrar directamente en la consideración de los centros de trabajo, puesto que de esta forma los árboles impedirían la visión del bosque y, por añadidura, el volumen de información a manejar simultáneamente sería excesivo. De ahí que en general el SLP (y cualquier otro método para diseñar distribuciones en planta) deba aplicarse en fases jerarquizadas, en cada una de las cuales el detalle es mayor que en la anterior.

Dada esta visión de conjunto del SLP, se puede describir a continuación con mayor detalle cada uno de sus pasos principales. Desde luego, la exposición se basa, en sus líneas generales, en las publicaciones del propio Muther pero no necesariamente coincide con ellas en todos los aspectos, no porque se cuestione aquí la validez del SLP sino porque el mismo método, en tanto que marco general, es flexible y admite variantes en diversos puntos.

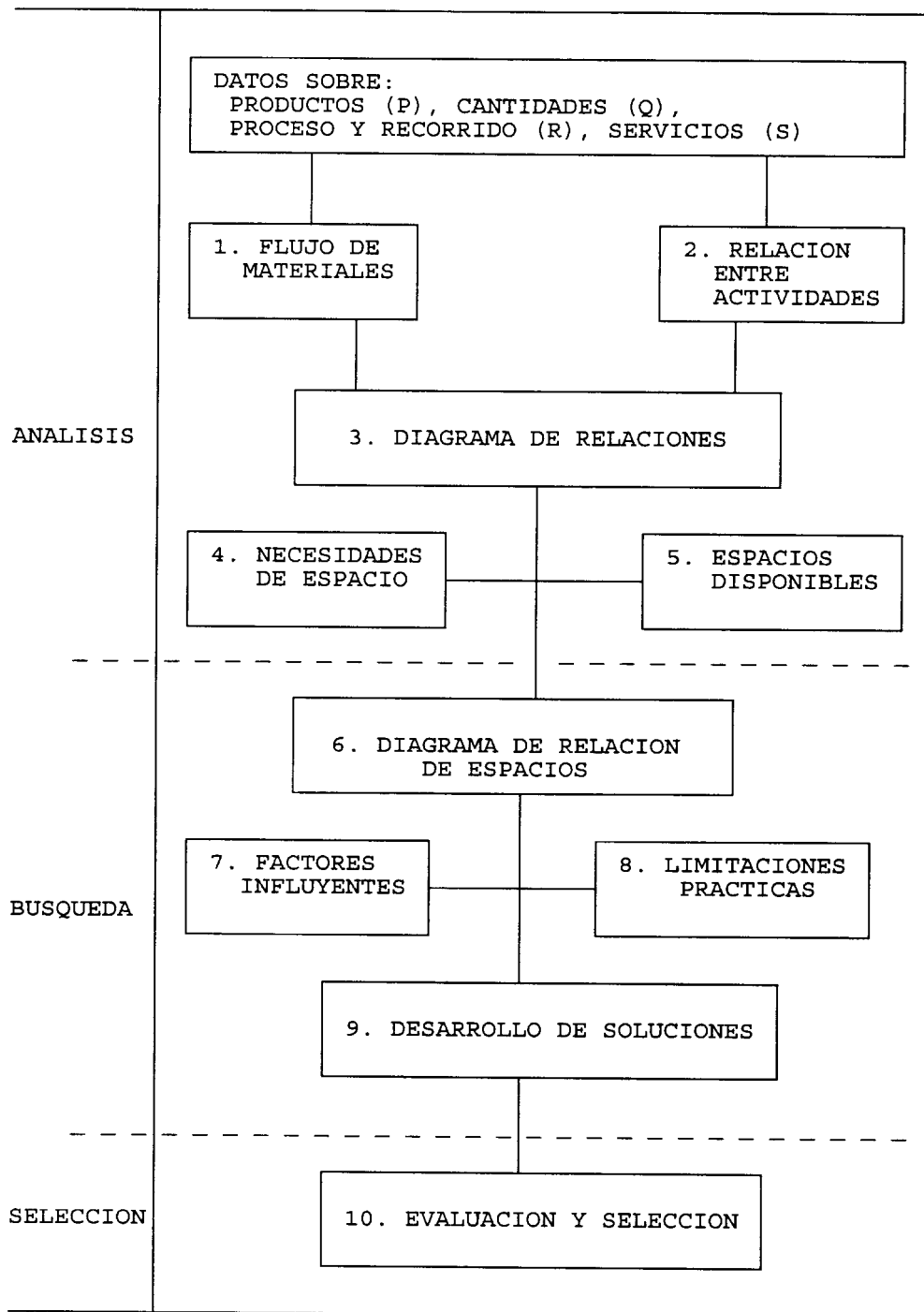


Fig. 6.1.2.1 Esquema general del método S.L.P

Recogida y análisis de información sobre el volumen de producción

Lógicamente, el primer paso en el proceso de diseño de una distribución en planta es conocer qué se ha de producir y en qué cantidades. Puesto que una distribución en planta no es efímera y cambiarla o ampliarla es costoso, especialmente si la modificación no ha sido prevista en el diseño inicial, se ha de disponer de previsiones para cierto horizonte temporal.

No cabe entrar aquí, ni siquiera someramente, en un estudio de los métodos y técnicas de previsión, pero hay que señalar que los procedimientos basados en la proyección de datos históricos, que se emplean, por ejemplo, en las previsiones de ventas a corto plazo, serán insuficientes, e incluso francamente inadecuadas, en muchos casos, especialmente en distribuciones en planta de gran envergadura, planteadas a plazo largo, en las que la previsión deberá basarse, sobre todo, en las tendencias económicas y tecnológicas y en la estrategia de la propia empresa para el horizonte que se contemple.

En cuanto al volumen de la información, pueden presentarse situaciones muy variadas porque el número de productos puede ir desde uno solo hasta varios miles. Si la gama es muy amplia, convendrá formar grupos de productos similares, no sólo para facilitar el tratamiento de la información y la formulación de previsiones, sino también porque las previsiones para un solo producto pueden ser poco significativas (incluso puede darse el caso de que muchos productos dejen de fabricarse a más o menos corto plazo y sean substituidos por otros dentro de un mismo grupo).

De todos modos, la mayor o menor agregación de los productos ha de ser función de su peso relativo en el conjunto, tanto por lo que se refiere a la cantidad como al valor, por lo que, para empezar, deberá establecerse una relación de productos con alguna indicación sobre su importancia. Una vez agrupados, se procederá a realizar previsiones para el horizonte considerado y para cada grupo. El esfuerzo dedicado a efectuar dichas previsiones no tiene que ser homogéneo; es más lógico, por el contrario, prestar mayor atención a los grupos de productos más importantes.

Finalmente, se procederá a ordenar los grupos de productos según su importancia, de acuerdo con las previsiones efectuadas. Esta ordenación sirve de base para una clasificación de los grupos que determinará un tratamiento diferenciado en etapas posteriores del método.

Todo esto es lo que Muther denomina análisis P-Q (producto - cantidad - "quantity" en inglés -), cuyo elemento principal es el gráfico P-Q. En él las ordenadas corresponden a las cantidades de cada producto o grupo de productos, y éstos figuran en abscisas, según el orden decreciente de dichas cantidades (*fig. 6.1.2.2*).

Desde luego, los gráficos son una ayuda, pero no es ésta la única forma de representación

posible. Lo más importante es la idea subyacente al gráfico P-Q y a muchos aspectos de lo expuesto en este apartado, a saber, que cuando se trata de estudiar un conjunto algo numeroso de objetos es conveniente clasificarlos de acuerdo con su importancia y dedicar al tratamiento de cada uno de los grupos así formados recursos proporcionados a dicha importancia. Esto parece trivial, pero al parecer no es obvio, puesto que, espontáneamente, no todo el mundo procede así. Obsérvese que esta misma idea está en la base de la que se suele denominar curva ABC (que interviene en la gestión de stocks o en el análisis diversificación/ simplificación de productos) o del gráfico que se utiliza en la gestión de la calidad para analizar la importancia relativa de los defectos o de las causas de los mismos, y que se denomina entonces curva de Pareto, cuya denominación remite al economista italiano que empleó una curva semejante en sus estudios sobre la distribución de la renta.

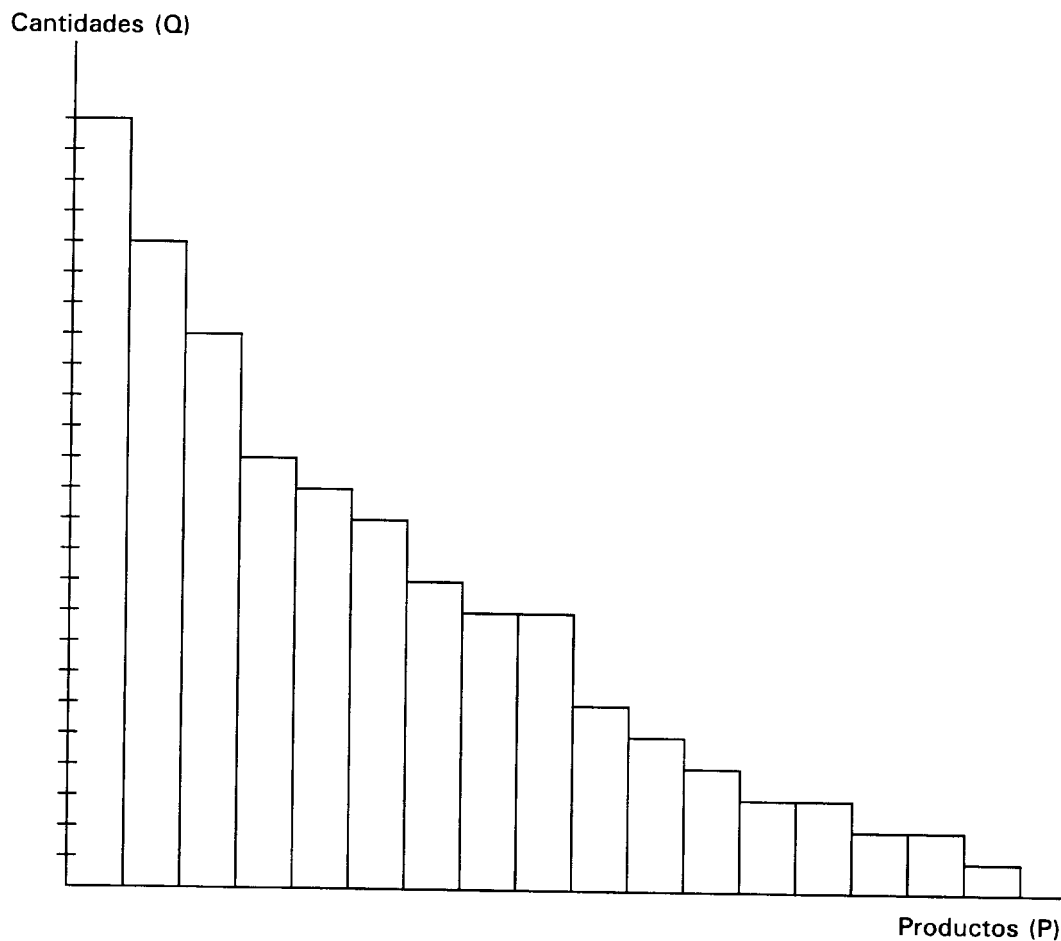


Fig. 6.1.2.2 Gráfico P-Q

Movimiento de materiales

Aunque, como se ha dicho, no es el único aspecto a tener en cuenta al diseñar la distribución en planta y muchas veces no es ni siquiera el más importante, no cabe duda de que en las industrias de transformación y montaje el movimiento de materiales es la clave del planteamiento.

Símbolos y diagramas

Para su estudio se ha de partir de la descripción del proceso, para la cual es indispensable utilizar instrumentos adecuados. Tales instrumentos no son privativos de los estudios de distribución en planta; al contrario, son o pueden ser los mismos que se utilizan, ya con una larga tradición, en los estudios de métodos.

Hay una amplia variedad de símbolos, gráficos y tablas, que muchas veces pueden adaptarse a las necesidades de una aplicación concreta sin alterar sus características esenciales. Se elegirá en cada caso el instrumento adecuado al nivel de detalle que se desee y al objetivo que se persiga. Aquí no se trata de hacer una exposición sistemática sobre tales herramientas, más propia de un trabajo sobre estudio de métodos, pero parece indispensable describir las que con mayor frecuencia serán utilizadas en un estudio de distribución en planta.

Los símbolos más empleados son los de la ASME (asociación estadounidense de ingenieros mecánicos), que aparecen en la *figura 6.1.2.3*. De ellos, sólo dos, los de operación e inspección o control (y tal vez el de almacenamiento) aparecen en el denominado *diagrama de operaciones* (o *cursograma sinóptico* según el libro de la O.I.T. que se cita en la bibliografía); la *figura 6.1.2.4* proporciona los elementos para la interpretación de tales diagramas y en la *figura 6.1.2.5* puede verse un ejemplo de los mismos. Lo esencial de los diagramas de operaciones son los símbolos, las líneas que los unen y las descripciones que los acompañan, pero pueden y suelen incluir información complementaria (por ejemplo, tiempos, peso o volumen), de acuerdo con los fines perseguidos en cada caso.

El *diagrama de acoplamiento* (*fig. 6.1.2.6*) destaca los subconjuntos que se van formando y reuniendo hasta obtener el producto. Estos diagramas admiten variantes, según incluyan más o menos información sobre las operaciones; el de la figura es, de hecho, una representación de la estructura del producto.

En el *diagrama analítico de operaciones del proceso* (*cursograma analítico* en el libro de la O.I.T.) aparecen también los símbolos de transporte y de demora. La presentación de estos gráficos es muy diversa, desde un formato libre que permite dibujar un diagrama de aspecto parecido al de operaciones, pero con más información (*fig. 6.1.2.7*) hasta impresos (*fig. 6.1.2.8*) que imponen una cierta rigidez pero homogeneizan el aspecto de los diagramas y facilitan su elaboración. Por supuesto, tales diagramas sólo pueden plantearse

en relación a una determinada distribución en planta, existente o en proyecto, puesto que la distribución precisamente determina la necesidad de las acciones de transporte y, en parte, las demoras.

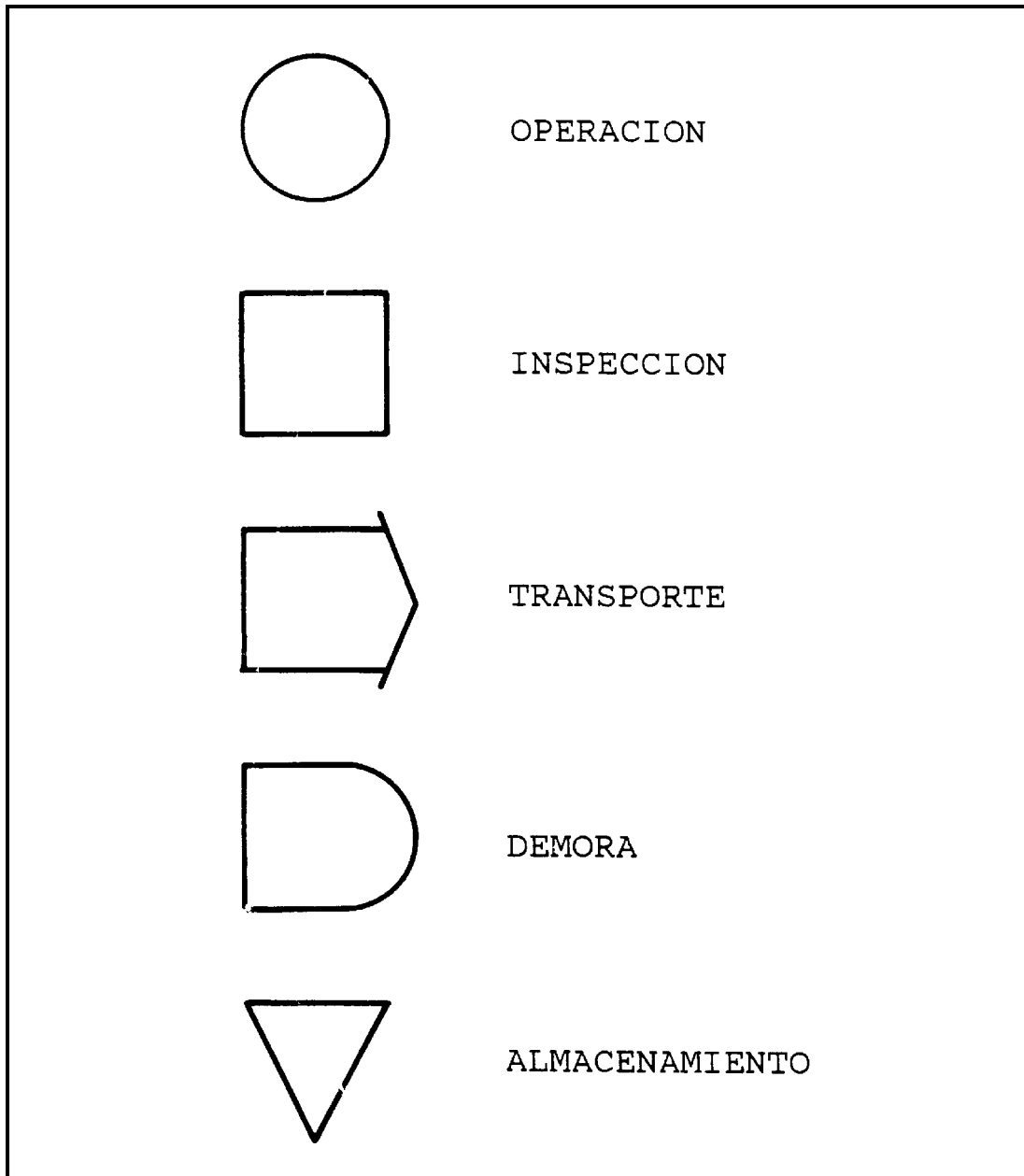


Fig. 6.1.2.3 Símbolos de la ASME

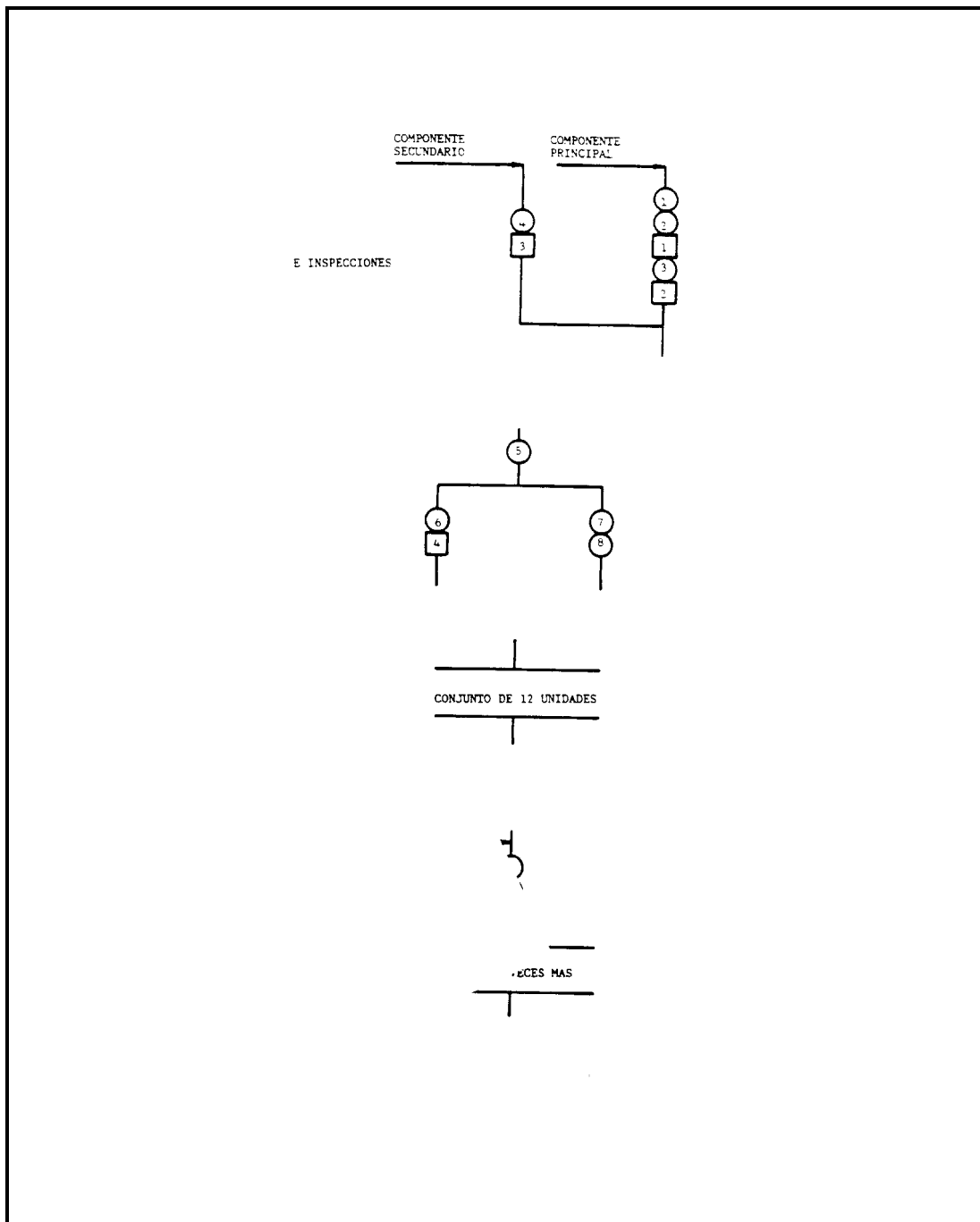


Fig. 6.1.2.4 Representaciones convencionales en los diagramas de operaciones

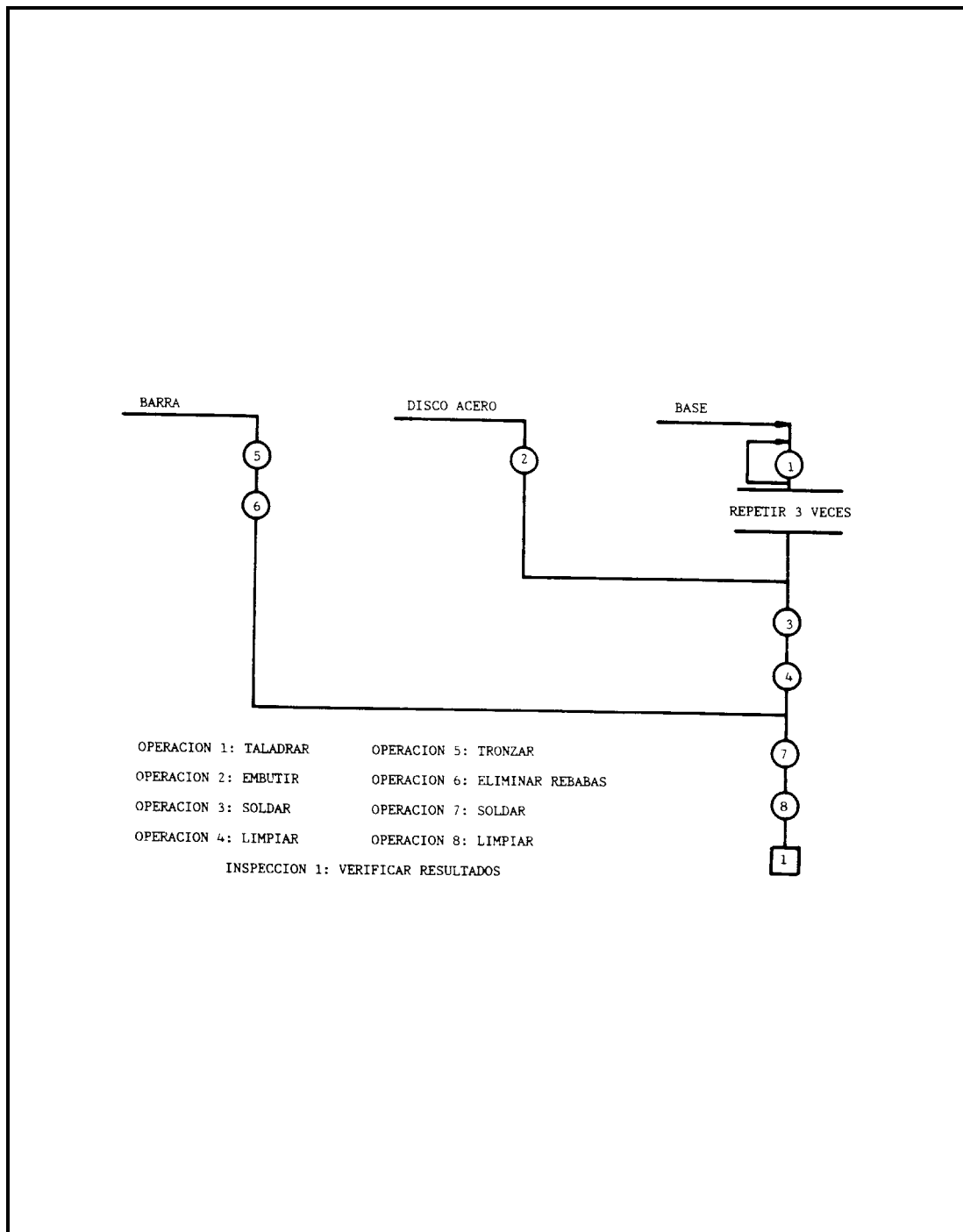


Fig. 6.1.2.5 Un ejemplo de diagrama de operaciones

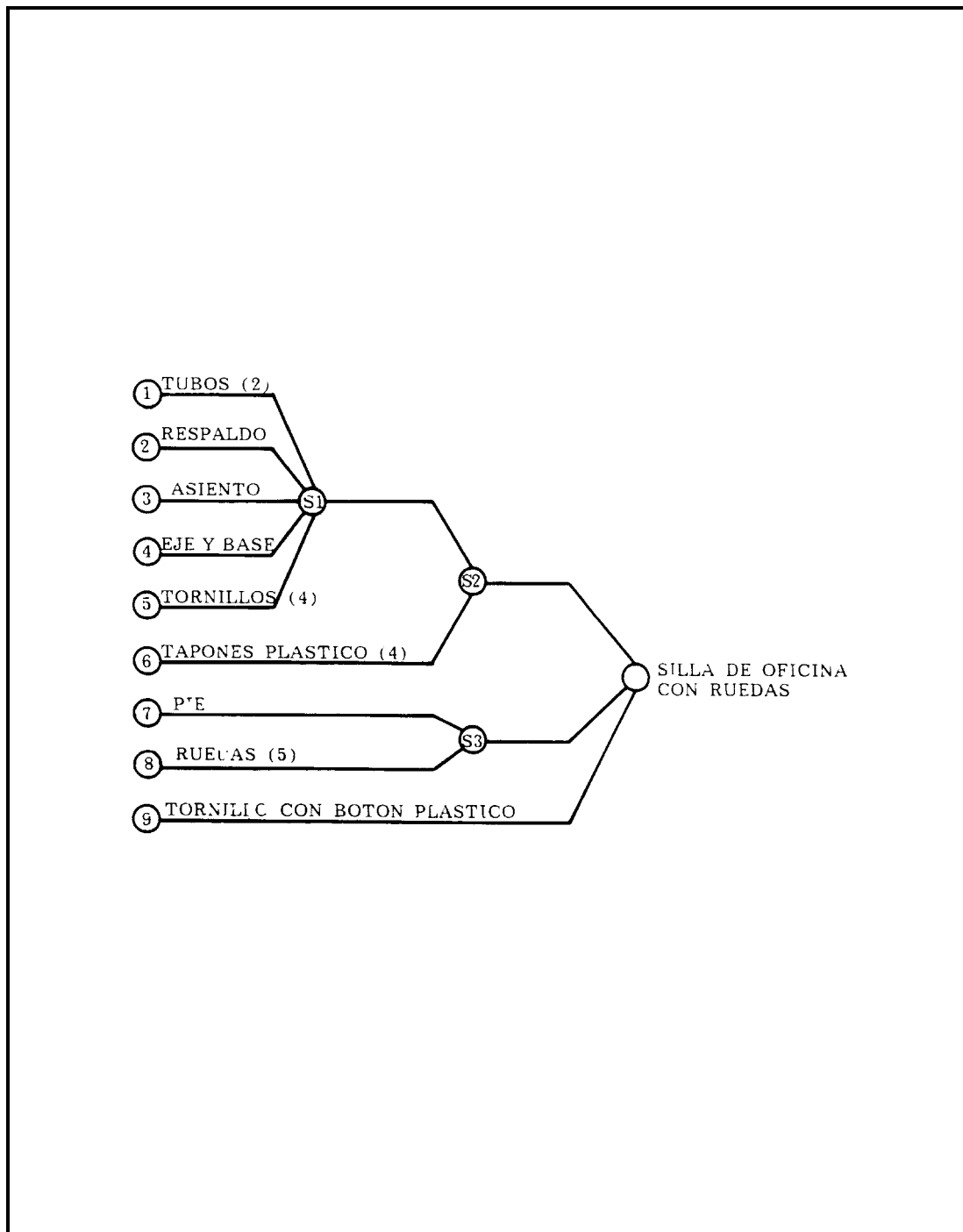


Fig. 6.1.2.6 Diagrama de acoplamiento correspondiente a una silla de oficina con ruedas

De los diagramas descritos hasta aquí no se desprende una distribución en planta, pero indudablemente proporcionan una pauta para su planteamiento. No es difícil, a partir de ellos, establecer puestos de trabajo, líneas de montaje principales y secundarias, áreas para almacenamiento intermedio, etc.

Para los productos más importantes convendrá establecer uno de tales diagramas. Pero si hay muchos productos conviene utilizar, para los de menor cuantía, instrumentos de representación más compactos, tal como el *diagrama multiproducto* (del que se recoge un ejemplo en la *figura 6.1.2.9*) el cual es, por otra parte, una herramienta muy adecuada para tener una visión conjunta de los procesos correspondientes a diversos productos, especialmente interesante cuando se trata de grupos de productos con procesos similares, ya que entonces puede ser muy conveniente efectuar un planteamiento conjunto de la distribución para todo el grupo. Un poco más adelante se volverá sobre esta idea.

Otra forma de representación del proceso, que destaca los desplazamientos entre centros de actividad es una matriz en que cada fila y cada columna corresponden a un centro de actividad. Cada casilla de la matriz, salvo las de la diagonal principal, incluye uno o más símbolos o cifras. La matriz de la *figura 6.1.2.10* da sobre los desplazamientos entre centros de actividad una información parecida a la contenida en el diagrama multiproducto de la *figura 6.1.2.9*, pero más ambigua; la de la *figura 6.1.2.11*, en cambio, contiene en cada casilla el volumen de los movimientos y es una presentación de los datos que resulta cómoda para calcular los costes correspondientes a distintas alternativas de la distribución en planta.

En todas las formas de representación mencionadas hasta aquí, el aspecto espacial aparece en todo caso de una forma poco explícita. Y por supuesto es esencial en el estudio de una distribución en planta. Este aspecto se refleja directamente en los *diagramas de recorrido* y en los *diagramas de hilos*.

Estos últimos pueden utilizarse en el estudio de una distribución existente; sobre una representación a escala del taller o sección de la empresa que corresponda, con sus elementos principales, las trayectorias observadas se materializan con hilos que pueden ser de diversos colores y que se sujetan con agujas. El diagrama de hilos así obtenido (tal como el que se representa en la *figura 6.1.2.12*) da información sobre las trayectorias, la frecuencia de utilización de los diversos puntos de paso y la posibilidad de interferencias entre distintos flujos.

Los diagramas de recorrido son, de hecho, diagramas analíticos de las operaciones del proceso dibujados sobre representaciones a escala de la sección o secciones donde el proceso se lleva a cabo de tal forma que los símbolos ASME de cada acción se dibujan en la posición del lugar en que se realizan. Las *figuras 6.1.2.13* y *6.1.2.14* incluyen, respectivamente, el diagrama de recorrido de un proceso existente (es el mismo que

describe la figura 6.1.2.8) y el nuevo planteamiento, obtenido a partir del análisis crítico del anterior; otros ejemplos de diagramas de recorrido aparecerán en figuras posteriores.

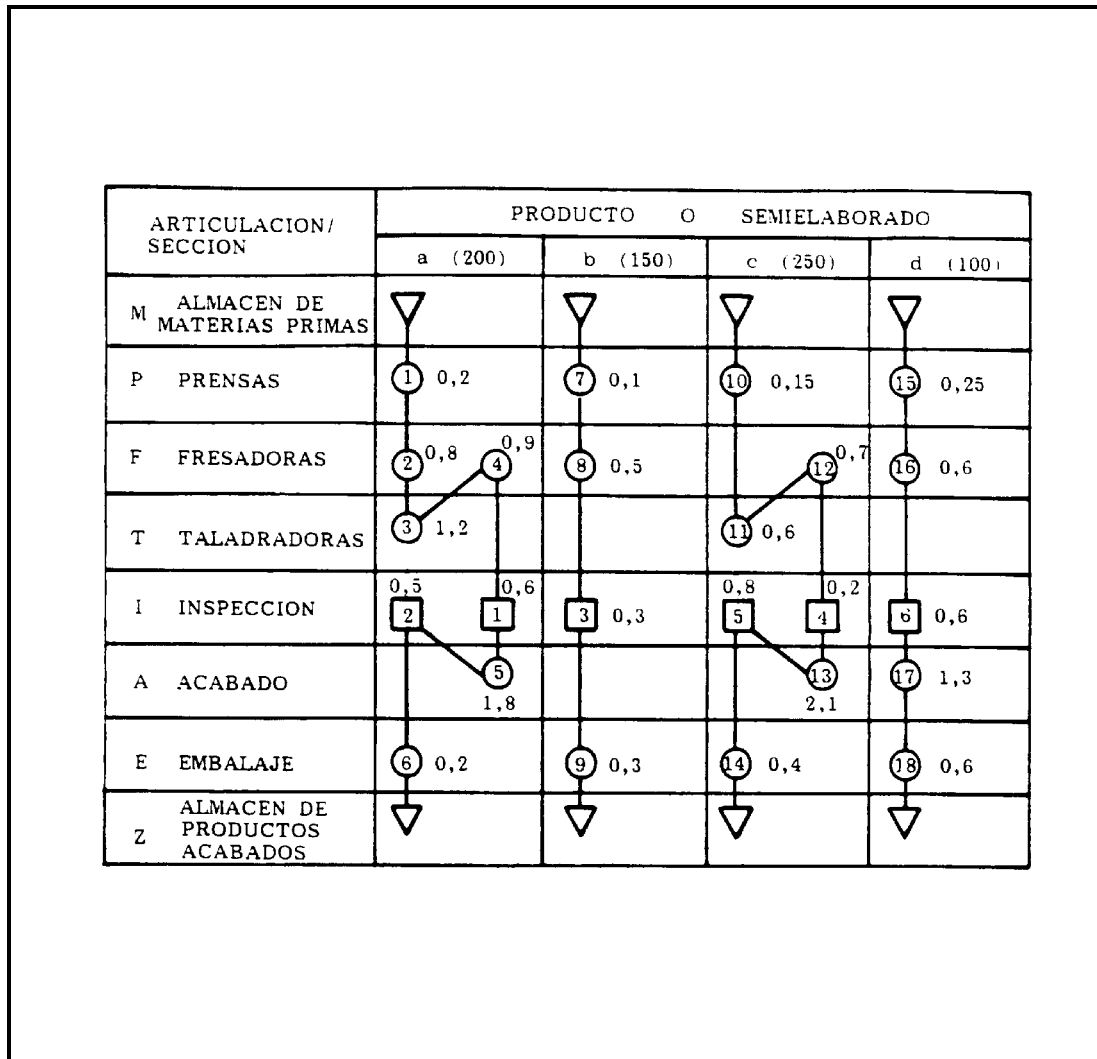


Fig. 6.1.2.9 Diagrama multiproducto. Los números entre paréntesis que figuran junto a los códigos de producto corresponden a los volúmenes diarios, expresados en alguna unidad homogénea (se supone que estos volúmenes no se modifican sensiblemente a lo largo del proceso); los valores que figuran junto a los símbolos de operación e inspección indican el número de unidades productivas (máquinas, operarios, etc. según el caso) que se requiere para llevar a cabo la actividad

DE ↓ A →	M	P	F	T	I	A	E	Z
M		a, b c, d						
P			a, b d	c				
F				a	a, b c, d			
T			a, c					
I						a, c d	a, b c	
A					a, c		d	
E								a, b c, d
Z								

Fig. 6.1.2.10 Matriz origen-destino correspondiente a los procesos representados en el diagrama multiproducto de la figura anterior

Tipos de recorrido

Una vez obtenida y analizada la información sobre el proceso correspondiente a los diversos grupos de productos, cabe establecer un esquema del recorrido, que dará una idea de la distribución en lo que se refiere a las secciones implicadas en el movimiento de materiales.

De hecho más que un esquema pueden ser varios porque el análisis P-Q puede haber llevado a la conclusión de que conviene un tratamiento muy distinto para unos u otros grupos de productos (desde puestos de trabajo individuales para artículos de baja producción hasta cadenas de montaje para los de gran volumen de ventas).

Antes de entrar en detalles conviene plantearse la forma general del flujo, que condiciona la distribución y que a su vez está condicionado por consideraciones de coste y de disponibilidad de espacio. Las figuras 6.1.2.15 y 6.1.2.16 contienen algunos esquemas de flujo horizontal y vertical, respectivamente.

DE ↓ A →	P	F	T	I	A	E	Z
M	700						
P		450	250				
F			200	700			
T		450					
I					550	600	
A				450		100	
E							700

Fig. 6.1.2.11 Matriz origen-destino análoga a la de la figura 6.1.2.10, pero con los volúmenes totales correspondientes al conjunto de los cuatro productos *a, b, c, d*

En la introducción a este capítulo dedicado a la distribución en planta ya han sido comentados diversos tipos de distribución, a saber, de *proyecto singular, posición fija*, por *grupos de trabajo, orientadas al proceso y orientadas al producto*. Sin que parezca necesario, por sus características, comentar más ampliamente el primero y el tercero, se puede, en cambio, en este punto, profundizar más en los otros tres. A ellos se refieren, respectivamente, las *figuras 6.1.2.17, 6.1.2.18 y 6.1.2.19* que tienen la misma estructura y contienen ventajas, inconvenientes y condiciones en que es conveniente utilizar el tipo de distribución correspondiente.

La *figura 6.1.2.20* incluye, en relación a los datos incluidos en la *figura 6.1.2.9*, un ejemplo de distribución orientada al producto con los diagramas de recorrido correspondientes y el cálculo de las unidades productivas necesarias en cada sección (en el supuesto de que no son fraccionables y que, por tanto, si el valor obtenido no es entero se ha de redondear al entero inmediatamente superior).

Incluso con la misma asignación del espacio a las diversas secciones se podría ensayar otras soluciones. Por ejemplo, la operación 16 se podrá efectuar también en F_2 , pero ello obligaría a asignar una unidad más a esa sección (las necesidades teóricas pasarían de 1'6 a 2'2) sin reducir las de F_1 (el valor teórico pasaría de 1'9 a 1'3); en cambio, la asignación de la inspección 6 a I_1 obliga a disponer 2 unidades en esa sección, mientras que su

asignación a I_2 (que obligaría a un retroceso en el flujo) no exige aumento del número de unidades en esta última y permite reducir en una unidad los recursos de I_1 .

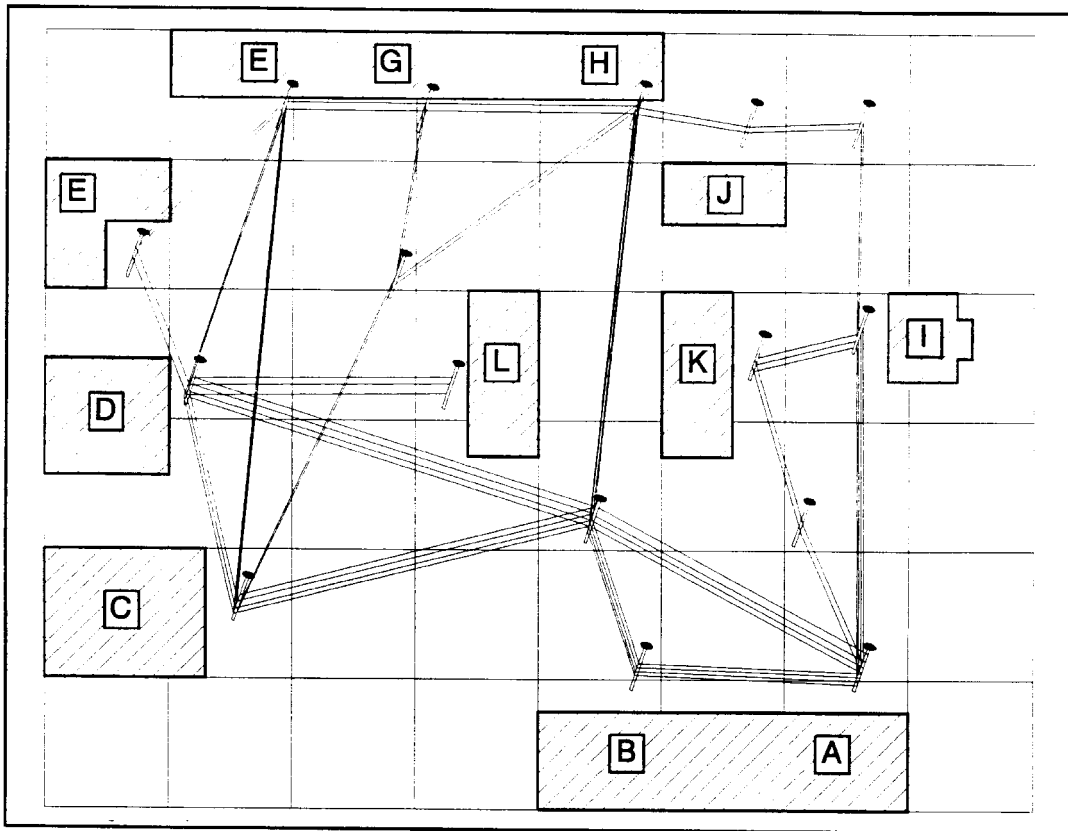


Fig. 6.1.2.12 Diagrama de hilos. Fuente: O.I.T.- Introducción al estudio del trabajo

La *figura 6.1.2.21* corresponde al cálculo de los costes de movimiento del material con la distribución de la figura anterior.

Por su parte, la *figura 6.1.2.22* representa una distribución orientada a proceso y sus diagramas de recorrido; se aprecia, en relación a la distribución orientada a producto, la mayor complejidad de las trayectorias y el ahorro de recursos (una unidad de inspección menos que en la solución representada en la *figura 6.1.2.20*).

Finalmente, por lo que se refiere a este ejemplo, la *figura 6.1.2.13* incluye diversos esquemas de distribuciones orientadas a proceso (en primer lugar, la misma que aparece en la *figura 6.1.2.22*) con los costes correspondientes.

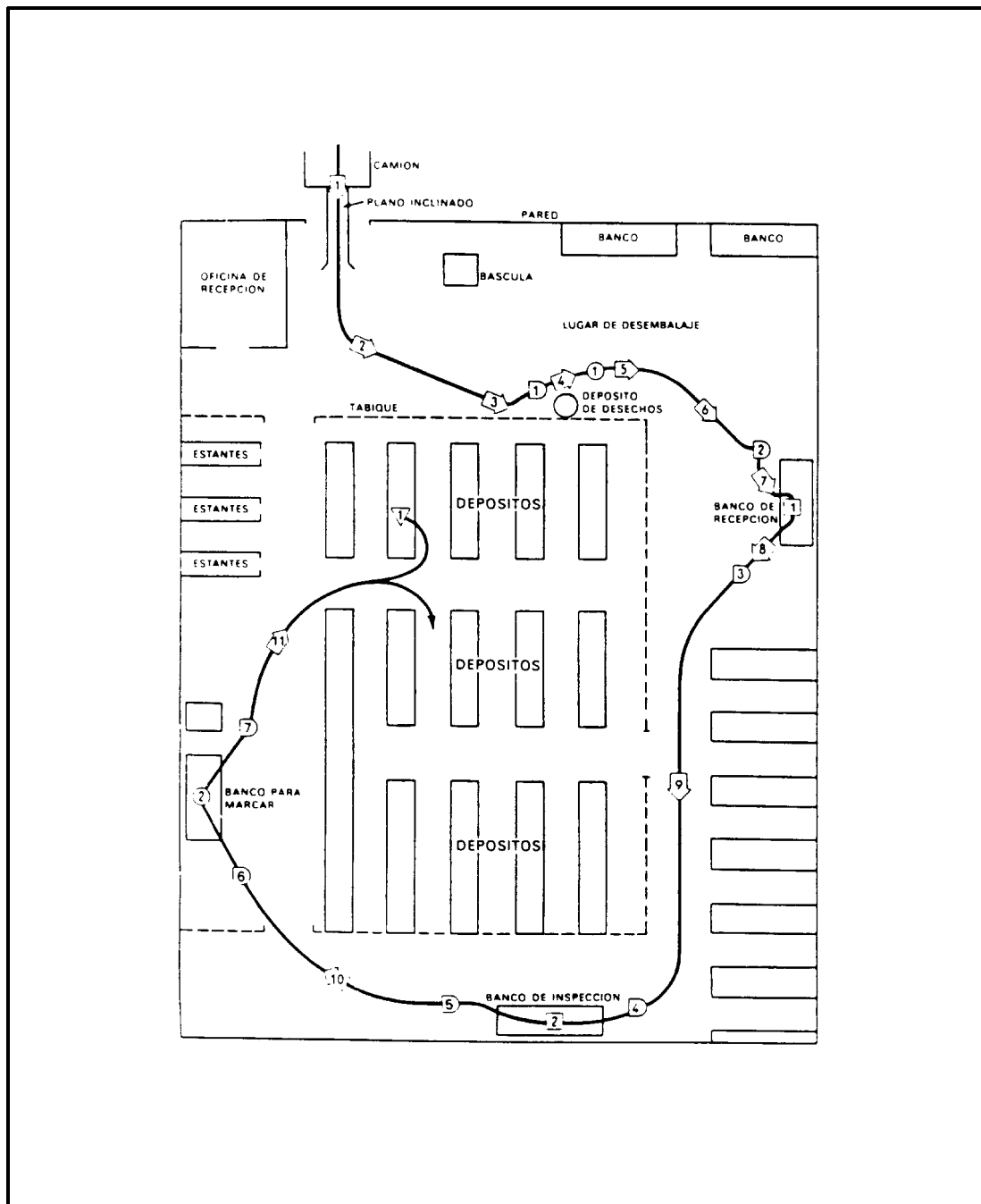


Fig. 6.1.2.13 Diagrama de recorrido correspondiente al método antiguo de recepción, inspección y numeración de piezas de la figura 43. Fuente: O.I.T.- Introducción al estudio del trabajo

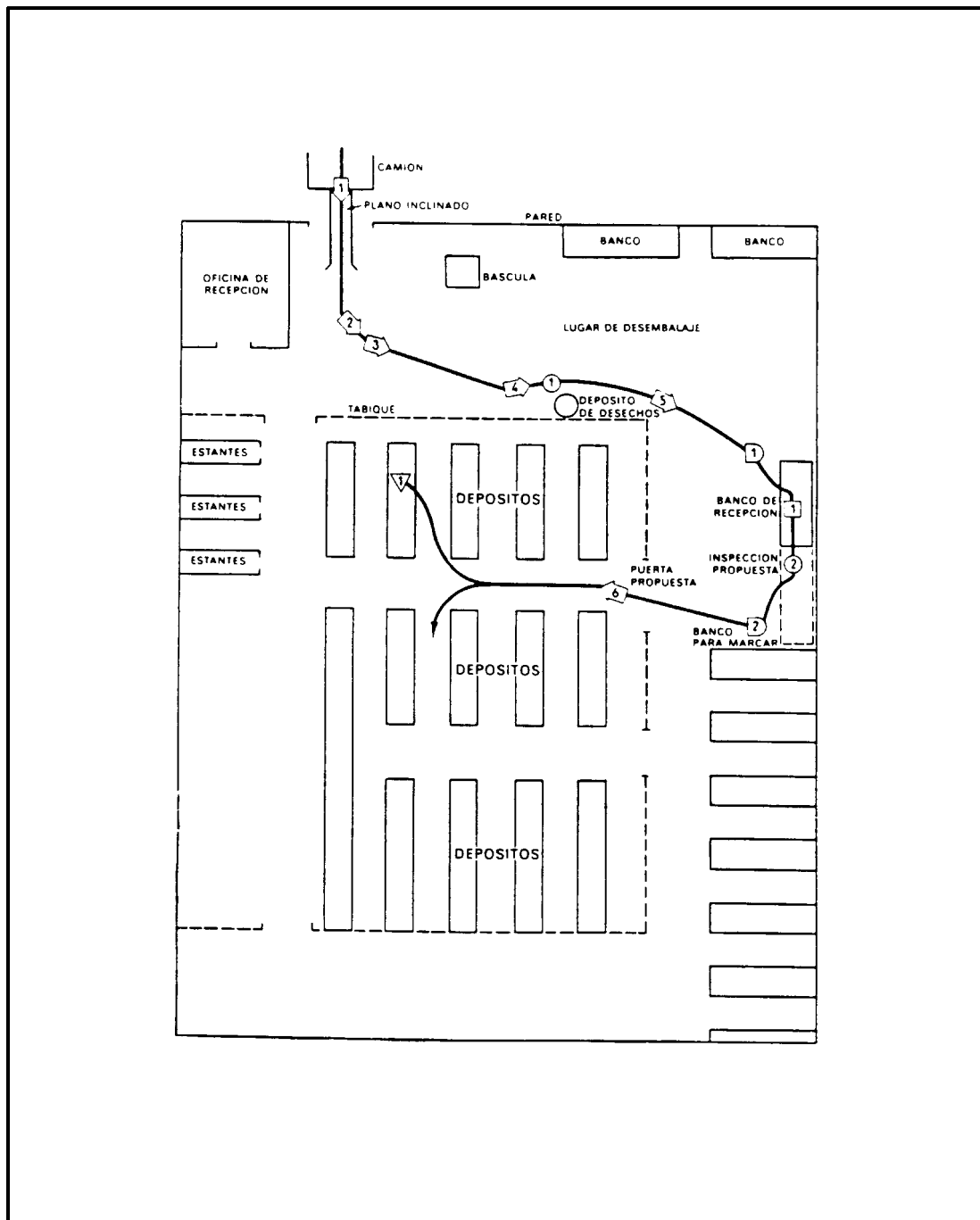


Fig. 6.1.2.14 Diagrama de recorrido correspondiente al método nuevo para la recepción, inspección y numeración de piezas a que se refiere la figura anterior. Fuente: O.I.T.- Introducción al estudio del trabajo

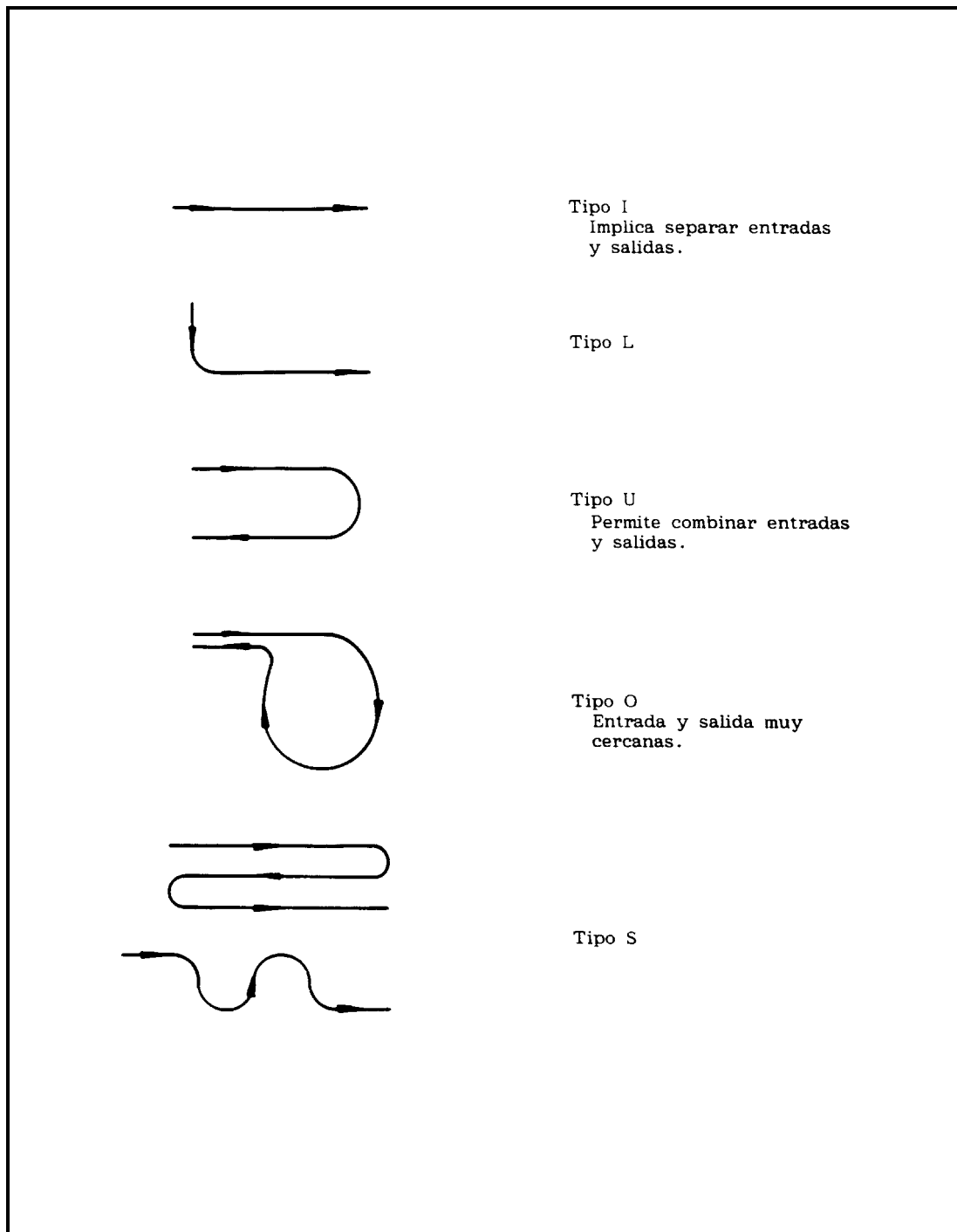


Fig. 6.1.2.15 Algunos esquemas de flujo horizontal

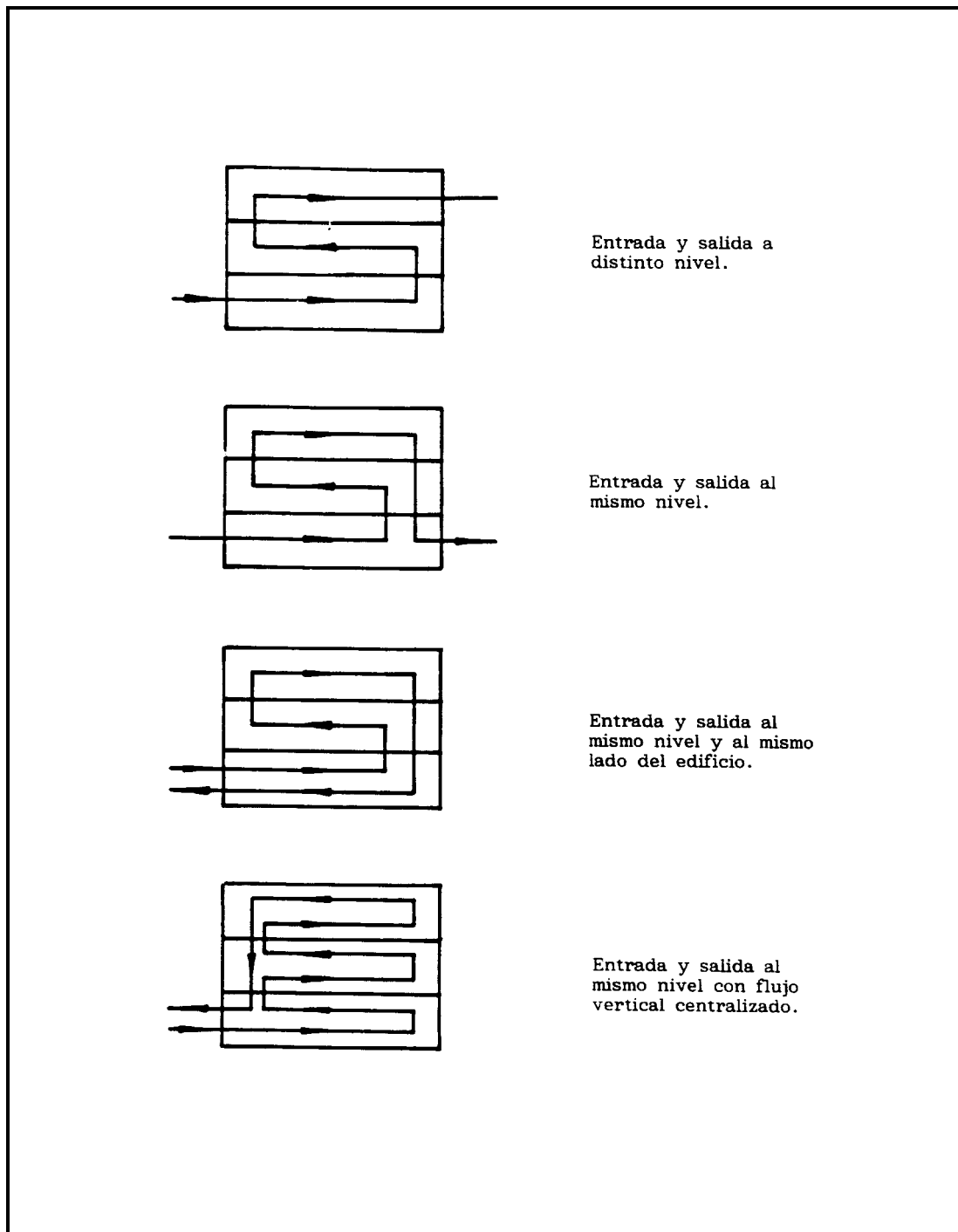


Fig. 6.1.2.16 Algunos esquemas de flujo vertical

DISTRIBUCION POR POSICION FIJA: VENTAJAS E INCONVENIENTES

Ventajas:

- Poca manipulación de la unidad principal de montaje
- Alta flexibilidad para adaptarse a variantes de un producto e incluso a una diversidad de productos

Inconvenientes:

- Ocupación de espacio
- Manutención de las piezas hasta el emplazamiento principal de montaje
- Dificultad para utilizar equipos difíciles de mover

Recomendable si:

- El coste de mover la pieza principal es elevado
- El número de unidades a producir es bajo
- Las operaciones requieren principalmente trabajo manual o herramientas o maquinaria ligeras

Fig. 6.1.2.17 Ventajas e inconvenientes de la distribución por posición fija

A pesar de las simplificaciones (utilización de la distancia rectangular entre los centros de las secciones, suponer constante la superficie total para cada tipo de actividad con independencia de la distribución, etc.) el ejemplo ilustra algunas de las características de los tipos de distribución a que se refiere.

La *figura 6.1.2.24* compara de forma general la orientación a producto con la orientación a proceso, sobre las cuales, por otra parte, se incluye a continuación algunos comentarios adicionales.

DISTRIBUCION ORIENTADA A PROCESO:

VENTAJAS E INCONVENIENTES

Ventajas:

- Mayor utilización de los equipos y, por tanto, menor inversión
- Flexibilidad para cambios en los productos y en el volumen de la demanda
- Mayor fiabilidad (más fácil mantener el sistema en funcionamiento ante averías, ausencias o fallos en el aprovisionamiento)
- Posibilidad de individualizar rendimientos

Inconvenientes:

- Manutención cara
- Alto stock de materiales en curso de elaboración
- Programación compleja

Recomendable si:

- Variedad de productos y demanda baja o intermitente de cada uno de ellos
- Maquinaria cara y difícil de trasladar

Fig. 6.1.2.18 Ventajas e inconvenientes de la distribución orientada a proceso

DISTRIBUCION ORIENTADA A PRODUCTO:
VENTAJAS E INCONVENIENTES

Ventajas:

- Mínima manipulación de los materiales
- Reducción del tiempo entre el inicio del proceso y la obtención del producto acabado
- Menos material en curso
- Mano de obra más fácil de entrenar y de substituir
- Programación y control sencillos

Inconvenientes:

- Mayor inversión
- Rigidez
- Diseño y puesta a punto más complejos
- El ritmo de producción lo marca la máquina más lenta
- Una avería puede interrumpir todo el proceso
- Tiempos muertos en algunos puestos de trabajo
- El aumento de rendimiento individual no repercute en el rendimiento global

Recomendable si:

- Alto volumen de producción de unidades idénticas o bastante parecidas
- Demanda estable

Fig. 6.1.2.19 Ventajas e inconvenientes de la distribución orientada a producto

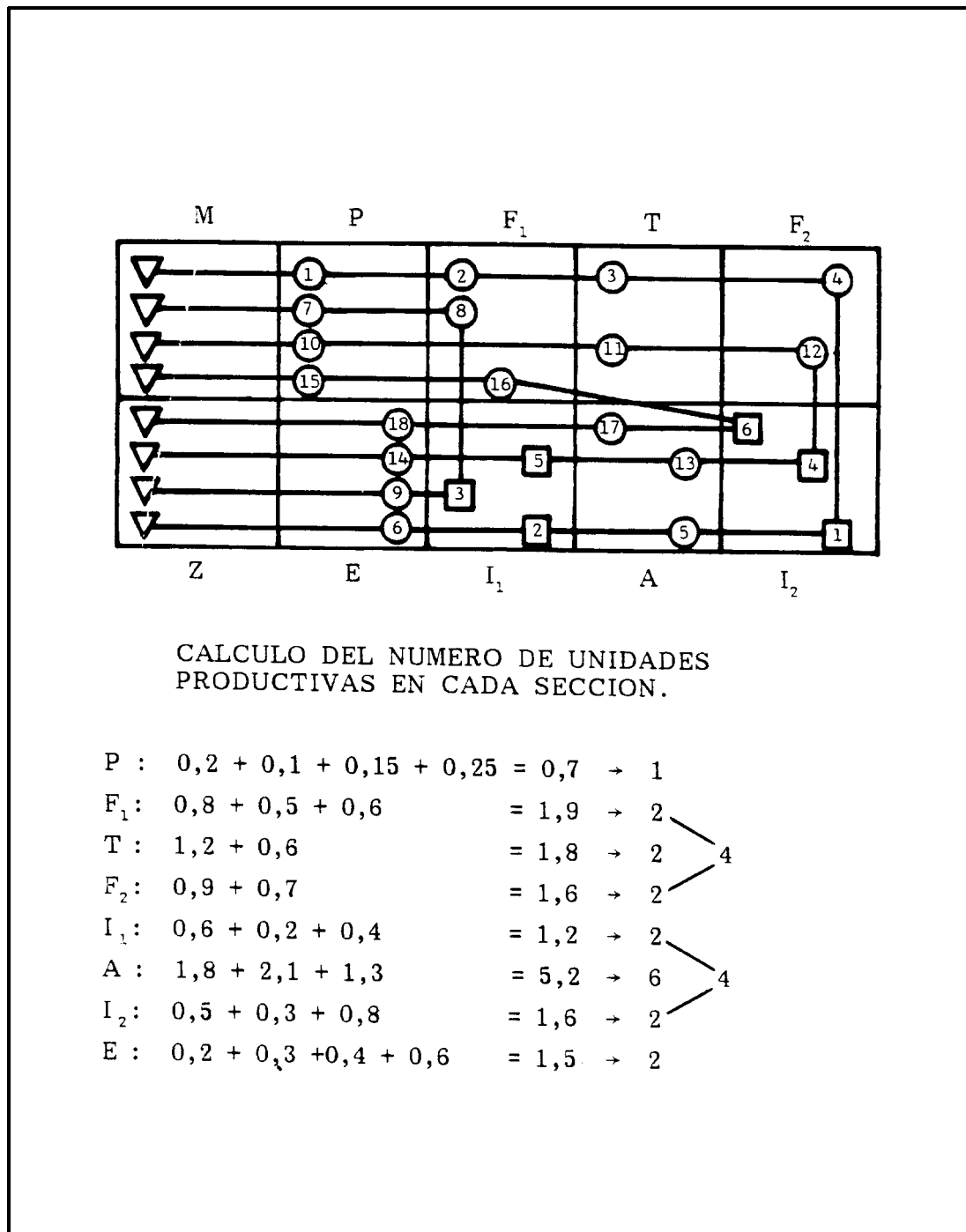


Fig. 6.1.2.20 Distribución en planta orientada a producto, diagramas de recorrido y cálculo de los recursos necesarios en cada sección relativos a los datos de la figura 6.1.2.9

DE ↓ A →	P	F ₁	F ₂	T	I ₁	I ₂	A	E	Z
M	700 ----- 10								
P		450 ----- 10		250 ----- 20					
F ₁				200 ----- 10	100 ----- 30	150 ----- 10			
F ₂					450 ----- 10				
T			450 ----- 10						
I ₁							550 ----- 10		
I ₂								600 ----- 10	
A							550 ----- 10		
E									700 ----- 10

Fig. 6.1.2.21 Matriz origen-destino correspondiente a la figura anterior, para el cálculo del coste del movimiento de materiales. En la parte superior de la casilla figura el número de unidades y en la inferior la distancia rectangular entre los centros de las secciones en el supuesto de que las dimensiones del taller son 20x50 unidades de longitud. Si la unidad de coste es el que corresponde a un desplazamiento de una unidad de longitud de una unidad de volumen, el coste total es la suma de productos de los valores que figuran en la parte superior e inferior de cada casilla



Fig. 6.1.2.22 Distribución en planta orientada a proceso, diagramas de recorrido y cálculo de los recursos necesarios (entre paréntesis al lado de la letra que simboliza la sección) referidos a los mismos datos utilizados en las figuras anteriores

Orientación a producto

La orientación a producto permite obtener flujos lógicos y regulares, menor obra en curso y menor espacio para almacenarla, así como plazos de producción reducidos. Los operarios sólo han de llevar a cabo actividades sencillas, repetitivas y de pocas clases distintas, por lo que no es preciso que su calificación sea muy elevada; de ello se desprende asimismo que la formación es breve, simple y barata. A costa de un diseño que puede ser muy complejo, la programación y el control de la producción son simples.

En cuanto a los inconvenientes de este enfoque, cabe señalar la mayor inversión que requiere y el hecho de que el ritmo de producción lo determina la estación de trabajo más lenta; el sistema así concebido es menos fiable, más vulnerable a las averías: en muchas configuraciones el paro de una sola máquina puede interrumpir todo el proceso productivo. Finalmente, una distribución en planta correctamente concebida puede dejar de ser adecuada si se producen cambios en el diseño del producto; dicho de otro modo, una de las características negativas de este enfoque es la falta de flexibilidad.

El caso extremo de la orientación a producto, su expresión más cabal, son las líneas o cadenas de montaje (o, más en general, cadenas de producción).

A pesar de las nuevas formas de organización del trabajo y de que a veces cierta literatura con pretensiones científicas parece confundir el presente con un futuro meramente

imaginado, ya que no deducido a partir de un análisis de la realidad, la producción en cadena sigue siendo fundamental en muchos sectores. De hecho, muchos productos industriales han podido ser y pueden ser fabricados en grandes cantidades y a bajo coste gracias a la producción en cadena, lo que no ha de ser óbice para tener en cuenta los problemas humanos unidos a esta forma de trabajo, que han preocupado a ingenieros, sociólogos, escritores y, como es notorio y casi tópico, a un cineasta como Chaplin, que con su película *Tiempos modernos* contribuyó a hacer de la producción en cadena una seña de identidad de nuestra época.

M	P	F	T
Z	E	I	A

	P	F	T	I	A	E	Z	
M	10							
P		15	30					
F			15	10				
T		15						
I					15	15		
A				15		30		
E							10	

COSTE = 72000

M	P	F	T
Z	E	A	I

	P	F	T	I	A	E	Z	
M	10							
P		15	30					
F			15	20				
T		15						
I					15	25		
A				15		10		
E							10	

COSTE = 83000

M	P	T	F
Z	E	I	A

	P	F	T	I	A	E	Z	
M	10							
P		25	10					
F			15	20				
T		15						
I					15	15		
A				15		30		
E							10	

COSTE = 78500

M	P	T	F
Z	E	A	I

	P	F	T	I	A	E	Z	
M	10							
P		25	10					
F			15	10				
T		15						
I					15	25		
A				15		10		
E							10	

COSTE = 75500

M	P	F	I	
Z	E		A	T

	P	F	T	I	A	E	Z	
M	10							
P		15	40					
F			25	20				
T		25						
I					15	35		
A				15		20		
E							10	

COSTE = 99000

Fig. 6.1.2.23 Diversos esquemas de distribuciones orientadas al proceso para los mismos datos de las figuras anteriores. Junto a cada esquema figura la matriz de distancias para las secciones entre las que se produce movimiento de materiales; con estas matrices y la de la figura 6.1.2.11 se ha llevado a cabo el cálculo del coste

COMPARACION DE LAS ORIENTACIONES A PRODUCTO Y A PROCESO DE LA DISTRIBUCION EN PLANTA		
Orientación a:		
Característica	Producto	Proceso
Proceso	Continuo	Intermitente
Equipo	Especializado	De uso general
Utilización de los equipos	Baja	Alta
Volumen de producción por artículo	Alto	Bajo
Producción para/por	Stock	Pedido
Demanda	Estable	Poco previsible
Número de productos	Bajo	Alto
Equipos de manutención	Transportes (Trayectos fijos)	Vehículos (tr. variables)
Espacio para material en curso de fabricación	Poco	Mucho
Programación de la producción	Sencilla	Compleja
Mantenimiento	Crítico	Importante
Carga de trabajo de cada unidad	Uniforme	Variable
Calificación mano de obra	Menor	Mayor
Aprendizaje	Corto	Largo
Plazo total producción	Corto	Largo
Inversión	Mayor	Menor
Flexibilidad	Poca	Mucha

Fig. 6.1.2.24 Comparación de las distribuciones por producto y por proceso

Una cadena de montaje puede constar de decenas e incluso centenares de estaciones de trabajo, cada una de las cuales puede estar servida por uno o más operarios. Los materiales pueden avanzar a velocidad constante o pueden permanecer en reposo en la estación de trabajo hasta que son movidos a la siguiente; en cualquier caso, en cada estación se

dispone de un cierto tiempo, prefijado, para llevar a cabo las tareas que tiene asignadas. Este tiempo (salvo el caso de dos o más estaciones en paralelo que desempeñan las mismas tareas) es el tiempo del ciclo de la cadena. Idealmente los tiempos de las tareas asignadas a cada una de las estaciones deben ser iguales a este ciclo; ello suele ser muy difícil de conseguir y, muchas veces (dada una cierta división del trabajo en tareas y unos equipos y un método para realizarlas) es imposible. En todo caso, la estación de trabajo a que corresponde un mayor tiempo total es la que marca el ritmo de toda la cadena, es el cuello de botella; y en las estaciones con un tiempo asignado menor, hay una capacidad potencial de trabajo desaprovechada. Aparece pues un problema que se denomina de equilibrado de líneas o cadenas y para el que se ha desarrollado una diversidad de técnicas que no es lógico discutir aquí, puesto que se trata de un problema de programación de actividades.

Aunque muchas cadenas de producción exigen grandes esfuerzos de proyecto, inversión y puesta a punto, puede haber cadenas simples y baratas, que incluso pueden ser la solución más apropiada para producciones que no tengan un carácter permanente. A pesar de que el prototipo de cadena de montaje sigue siendo la de producción de automóviles, este tipo de organización puede ser adecuado para muchos otros productos.

Las cadenas de producción ya no son siempre sistemas completamente rígidos que producían a fuerte ritmo unidades absolutamente iguales entre sí. La frase de Henry Ford según la cual el cliente podía elegir el color que prefiriera para su coche, a condición de que fuera el color negro, es una buena ilustración de cómo han cambiado las cosas desde entonces, porque, sin salir del ámbito de la industria automovilística, el cliente puede ahora elegir, no ya el color de su coche, sino en toda una amplia gama de opciones diversas (acabado metalizado, tipo de motor, elevalunas eléctricos, dirección asistida y un largo etcétera), lo que permite un número de combinaciones realmente muy elevado para un producto que sigue siendo fabricado, salvo modelos muy especiales, a base de cadenas de montaje. En definitiva, las innovaciones en la tecnología y en la gestión permiten diseñar cadenas de montaje con un cierto grado de flexibilidad.

En una de las plantas de fabricación de automóviles que funcionan en España, por ejemplo, una de las cadenas tiene una longitud de 3 km y puede producir más de un coche por minuto, con un tiempo de 22 horas desde que se empieza a montar el vehículo hasta que está totalmente terminado. Este imponente sistema productivo tiene, no obstante, la flexibilidad suficiente para personalizar en cierto modo las unidades, puesto que permite obtener, por ejemplo, un coche de un cierto color determinado y con un equipo musical determinado, dentro de una cierta gama.

Orientación a proceso

Con todo, una cadena de montaje de coches produce en cualquier caso objetos bastante parecidos. Si se trata de fabricar artículos más diversos, la distribución en planta orientada

a proceso es la más adecuada, porque proporciona la mayor flexibilidad; pero a cambio de mayores costes de mantenimiento y, sobre todo, de tiempos muertos incomparablemente mayores, en general, que en una orientación a producto. Se cita con frecuencia la cifra del 95% para la proporción de tiempo en que las piezas permanecen en el taller a la espera de que esté disponible la máquina o el operario que ha de efectuar el tratamiento correspondiente en cada momento; es decir, del tiempo transcurrido desde el instante en que se saca la materia prima del almacén hasta aquél en que el material elaborado entra en el almacén de productos terminados, sólo un 5% corresponde a acciones productivas. La gran repercusión de todo ello sobre el coste es evidente.

Las distribuciones orientadas al proceso permiten una mejor utilización de los equipos y exigen, por ello, menor inversión; como se ha dicho ya, se caracterizan también por su flexibilidad: pueden utilizarse para una gran variedad de trabajos y productos. De ahí que el trabajo sea menos repetitivo y monótono, lo que si, por una parte, puede resultar más satisfactorio y estimulante para los operarios, por otra exige una mayor calificación de los mismos y alarga y encarece su formación.

Este tipo de distribución exige un gran esfuerzo de programación y control y normalmente la manipulación del material resulta más cara, porque los recorridos son más complejos y diversos. El plazo necesario para la producción es mayor y hay más obra en curso, lo que obliga a reservar mayor espacio para su almacenamiento.

Un enfoque mixto: las células de fabricación.

Como puede deducirse de las figuras y comentarios, muy esquemáticamente se puede decir que normalmente la disyuntiva se planteará entre la distribución orientada a producto y la orientada a proceso (ya que la de posición fija sólo es adecuada para casos relativamente especiales) y que la orientación a producto es la conveniente para producir grandes cantidades de unidades idénticas, en tanto que la orientación a proceso es la recomendable para producir bajo pedido o series muy cortas.

¿Hay alguna solución que permita obtener plazos breves y costes bajos y mantenga a la vez cierta flexibilidad? Siempre ha sido conveniente disponer de un sistema productivo con estas propiedades, pero en nuestros días esto resulta prácticamente indispensable para hacer frente a la competencia con alguna garantía de éxito. El mercado exige variedad y, por consiguiente, el sistema productivo ha de ser flexible, pero sólo puede sobrevivir y desarrollarse si se consigue ajustar los costes, salvo que se disponga de una situación de monopolio que, por supuesto, no está al alcance de todo el mundo. Es evidente que, para lograr estos objetivos se deberá plantear una distribución que tenga una combinación de las características propias de las orientadas a proceso y de las orientadas a producto.

Este enfoque es el que se denomina de *tecnología de grupos*. Consiste, como se ha dicho, en una combinación de los dos enfoques básicos discutidos hasta aquí, de lo que resulta

un taller organizado en diversos subtalleres, cada uno de los cuales puede funcionar con cierta independencia de los otros: son las denominadas *células de fabricación* (*fig. 6.1.2.25*). Idealmente, los productos se clasifican en grupos homogéneos desde el punto de vista del proceso, de modo que a cada grupo se le asigna una célula de fabricación. En principio, todo el proceso correspondiente a un producto debería hacerse dentro de la correspondiente célula; en este caso las trayectorias seguidas por los materiales son cortas y sencillas y cada célula mantiene, no obstante, cierta flexibilidad, puesto que es capaz de producir una gama más o menos amplia de productos (al menos todos los del grupo que tiene asignado). Claro está que la calidad del diseño del sistema depende muchísimo de la clasificación de las piezas, para la cual hay un gran número de soluciones, y que para alcanzar la autosuficiencia de las células se requiere una fuerte inversión de la que por otra parte resulta una baja utilización de muchos de los equipos. Ello obliga a aceptar "imperfecciones" en relación al esquema básico, es decir, salidas y entradas de las piezas desde y hacia la célula de fabricación en que se realiza la mayor parte del proceso que les corresponde. Encontrar la mejor solución e incluso hallar simplemente una buena solución de un problema tan complejo, son tareas arduas. Los procedimientos para llevarlas a cabo son en estos momentos objeto de una activa investigación.

M	P	Grupo I (a, c) F(3), T(2), I(3), A(4)	E	Z
		Grupo II (b, d) F(2), I(1), A(2)		

Fig. 6.1.2.25 Un esquema de distribución por células de fabricación para el ejemplo desarrollado en las figuras 6.1.2.9 a 6.1.2.11 y 6.1.2.20 a 6.1.2.23

Sea cual sea el tipo de recorrido adoptado, hay una gran variedad de soluciones razonables. Determinar la óptima es un problema muy difícil, más incluso que el de asignación cuadrática, comentado en el capítulo dedicado a la localización. Dicha mayor dificultad proviene de que aquí se ha de tener en cuenta, de forma explícita, las necesidades de espacio lo que, por una parte, obliga a una estimación de las mismas, tal como se discutirá más adelante, y, por otra, complica los procedimientos de optimización que, de todas formas, se inspiran en los correspondientes al problema de asignación cuadrática. Estas complicaciones, de todas formas, no aparecen únicamente ligadas al movimiento de materiales sino a cualquier conjunto de relaciones entre actividades.

Relaciones entre actividades

El movimiento de materiales es un aspecto de mayor o menor importancia en el

planteamiento de la distribución en planta, pero desde luego nunca es el único a tener en cuenta, ni siquiera en las industrias típicamente manufactureras.

En éstas, algunas veces el movimiento de materiales puede incluso tener poca importancia por el escaso volumen o peso de los productos; en cualquier caso, se ha de prever una asignación de espacio para servicios anexos (como el de mantenimiento, oficinas, lavabos, etc.) que no se encuentran en el itinerario que siguen los materiales pero cuya relación con el mismo tiene una incidencia evidente sobre el coste.

Por otra parte, en las actividades de servicios el movimiento de materiales suele ser insignificante o inexistente, lo que no es óbice para que la distribución en planta tenga una gran importancia para el funcionamiento del sistema.

En definitiva, lo que se ha de tener en cuenta al plantear la distribución en planta no sólo es el recorrido de los elementos materiales sino en general cualquier circulación o relación que tenga lugar en el seno del sistema productivo, tanto si implica un movimiento de materiales más o menos pesados como si se trata de circulación de documentos o desplazamientos de equipos o personas, que pueden ser clientes o empleados de la propia empresa o de otras que les presten sus servicios.

De hecho, si se puede referir a una unidad de medida común, como puede ser el coste, los movimientos de materiales y las relaciones de otro tipo, no existe razón alguna para tratar separadamente unos y otras. El problema surge cuando, como sucede la mayoría de las veces, son, al menos prácticamente, inconmensurables; en muchas ocasiones ni siquiera es posible cuantificar con una fiabilidad aceptable algunas o la mayor parte de las relaciones, a pesar de lo cual se tiene una idea de su importancia, siquiera sea relativa.

Una forma concreta de organizar y presentar de forma compacta esta información es una tabla tal como la que aparece en la *figura 6.1.2.26* (tabla de relaciones, en la terminología del SLP), que muestra asimismo los símbolos recomendados por Muther para su utilización, los cuales han tenido por cierto una aceptación bastante general.

Por supuesto, cabría utilizar cualquier otra forma de representación equivalente; de hecho se trata de una matriz simétrica en que los elementos de la diagonal principal carecen de significado. La tabla de la figura permite recoger esta información sin desperdiciar espacio y sin redundancias.

Diagrama de relación de actividades

A partir de los análisis anteriores se puede empezar a configurar la distribución en planta.

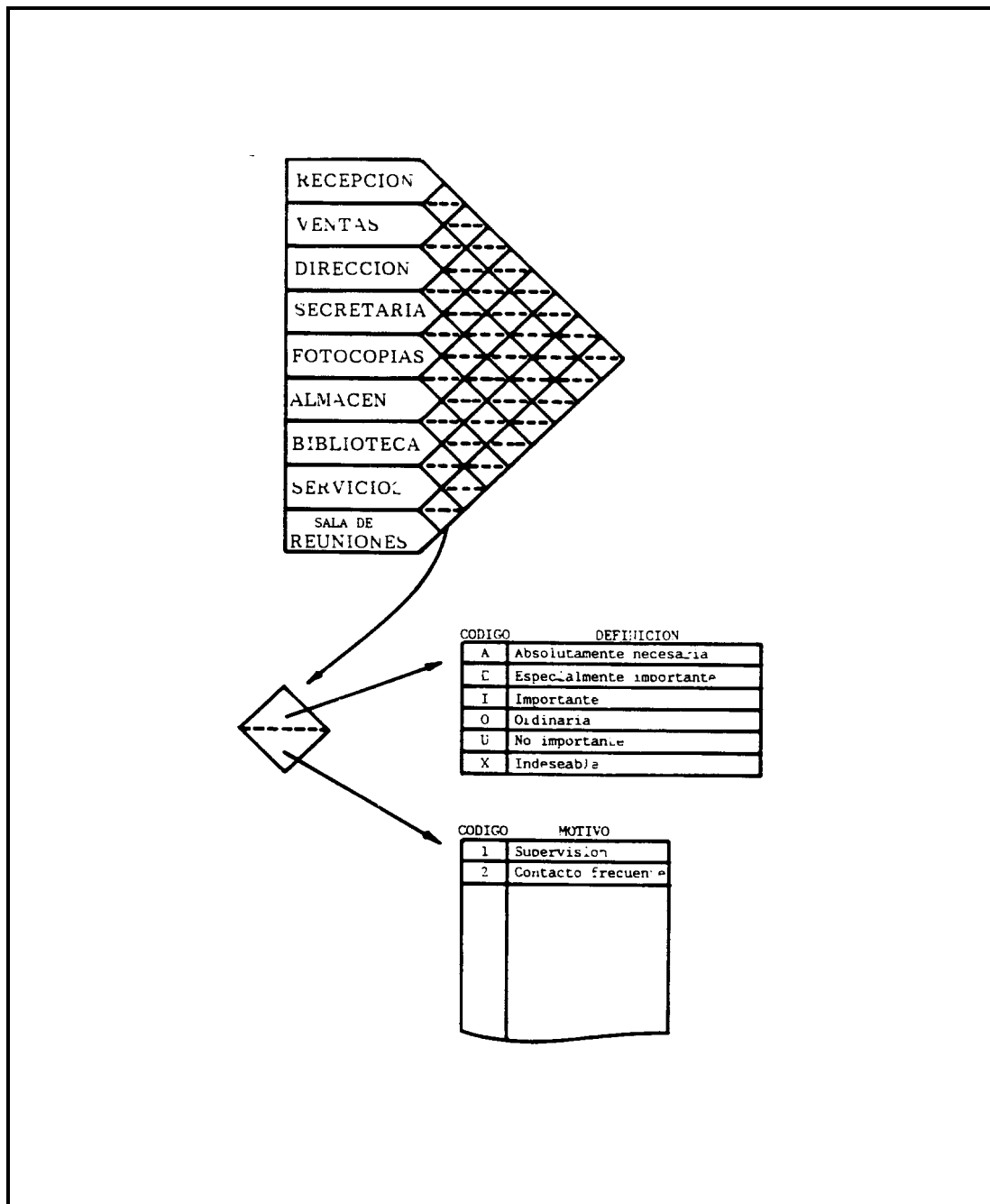


Fig. 6.12.26 Tabla de relaciones. Cada casilla está dividida en dos partes. En la superior se escribe un código de los definidos en la figura que indica la importancia de la relación; en la inferior, un código que exprese el motivo, según una lista que puede ser distinta en cada aplicación del método

En el SLP, el estudio del recorrido de los materiales (bloque 1 del diagrama de la *figura 6.1.2.1*) y el de la relación entre actividades (bloque 2 de la misma figura), convergen en el bloque 3, que se refiere a la elaboración del denominado diagrama de relación de actividades. Este es un gráfico, tal como el de la *figura 6.1.2.27*, en que se representa cada centro de actividad mediante un símbolo, que puede ser distinto según el centro de que se trate (por ejemplo, un triángulo invertido para los almacenes), pero que en ningún caso incluye información alguna sobre la superficie necesaria para el centro de actividad correspondiente, la cual no se ha estimado todavía. Los símbolos se unen mediante líneas simples o múltiples que indican la importancia de la relación, expresada cuantitativa o cualitativamente (con un número junto a la línea de unión, por su color o grueso o por el número de líneas).

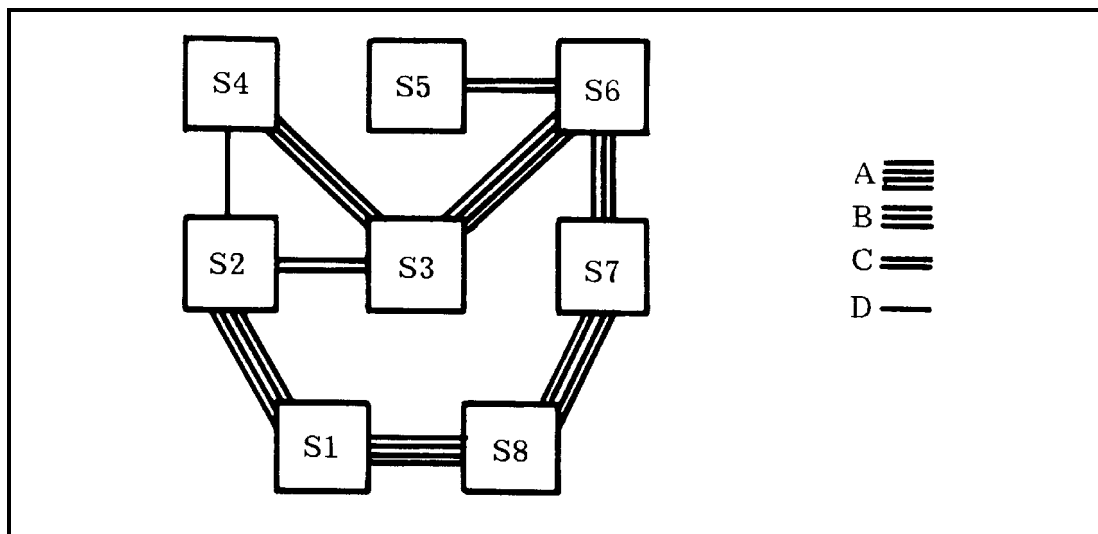


Fig. 6.1.2.27 Diagrama de relación de actividades

Este diagrama, por lo tanto, reúne y sintetiza la información obtenida en etapas anteriores en la aplicación del método y además empieza a considerar la posición relativa en el espacio del conjunto de centros de actividad. En la práctica, fundir la información procedente del estudio del recorrido de materiales con la que se ha obtenido en el análisis de relación de actividades no es fácil, porque como se ha dicho más arriba estas informaciones pueden y suelen ser inconmensurables. Si el movimiento de materiales es claramente predominante será la base del planteamiento: se determinará la posición relativa de los centros de actividad implicados en el recorrido y los otros centros de actividad se situarán después en relación a ellos. En cualquier otro caso, no quedará más remedio que agregar las informaciones mencionadas, lo que implica introducir juicios y criterios personales, es decir,

en definitiva una cierta dosis de subjetividad e implica asimismo una pérdida en la precisión de la información, ya que al agregar una información cuantitativa y otra cualitativa el resultado es meramente cualitativo, aunque se presente en forma numérica.

Es recomendable empezar a dibujar el diagrama siguiendo el orden de mayor a menor importancia en las relaciones., lo cual suele facilitar la obtención, con pocos tanteos, de un esquema razonable.

Necesidades y disponibilidad de espacio

En este punto se requiere ya la estimación de la superficie necesaria para cada centro de actividad. Desde luego, tal estimación puede haberse realizado antes de elaborar el diagrama de relación de actividades (el cual, por otra parte, tampoco puede considerarse, estrictamente, como indispensable: en muchas aplicaciones se podría establecer directamente el diagrama de relación de espacios que se describirá algo más adelante).

¿Cómo llevar a cabo la estimación de las superficies? Este es un punto delicado porque el espacio es caro, y a veces muy caro, y convendría ser muy precisos, pero la precisión, que muchas veces será más supuesta que real, puede conducir a un sistema muy vulnerable a los cambios o a los errores de planteamiento. No se puede ser excesivamente preciso, pues, en el sentido de que se debe realizar, desde luego, las estimaciones con toda la precisión de que se sea capaz pero introduciendo siempre un cierto margen. Los procedimientos a utilizar son muy diversos y la elección entre ellos depende del nivel de detalle a que se esté realizando el estudio, así como de la información disponible y de la experiencia de que dispongan los responsables del estudio sobre el sector o tipo de actividad a que se corresponda la distribución en planta.

Por supuesto que, normalmente, cuanto más sencillo sea y cuantos menos cálculos exija un método, menos preciso será. Los menos aproximados se basan en la aplicación de coeficientes que pueden recibir diversas denominaciones (ratios, por ejemplo) pero que en definitiva son valores que expresan la relación entre alguna magnitud característica del sistema productivo (número de unidades a producir por período, capital invertido, número de trabajadores por turno, etc.) y la superficie requerida. Tales ratios pueden tener valores estables a lo largo del tiempo, pero pueden presentar también tendencias, fruto por ejemplo de la innovación tecnológica o de la evolución en el número de horas de trabajo por persona y año; en estos casos se deberá extrapolar para obtener una estimación de los valores futuros. Este procedimiento puede ser útil únicamente para una primera aproximación y entre sus inconvenientes destaca el hecho de que suponga, implícitamente, una relación de proporcionalidad entre la magnitud que sirve de punto de partida para el cálculo de la superficie y la superficie misma; claro está que ello en general no es cierto y que puede conducir a errores de consideración.

La utilización de normas o estándares permite una mayor precisión en la estimación de las superficies. Aunque sería difícil establecer una frontera precisa entre ratios y estándares, éstos últimos se refieren a elementos más concretos (por ejemplo, un estándar puede dar el número de metros cuadrados necesario para una máquina de un tipo y modelo específico o para cierto tipo de puesto de trabajo en una oficina).

Desde luego, no es fácil disponer de estándares fiables. Para ello se requiere amplia experiencia y una considerable labor de recogida y elaboración de información. Algunos estándares se han publicado, pero es delicado adoptarlos si no se sabe cómo han sido obtenidos ni a qué entorno corresponden (por motivos culturales, de costumbre, etc., los estándares pueden ser distintos de unos países a otros, por ejemplo).

La estimación de la superficie a través de estándares consiste en sumar los correspondientes a los elementos que constituyen el sistema productivo y multiplicar el valor así obtenido por coeficientes que permitan tener en cuenta aspectos, como los pasillos, que no hayan sido considerados en el cálculo de los estándares.

Cuando se trata de diseñar una nueva distribución en planta para un sistema productivo existente se puede estimar la superficie por un procedimiento de extrapolación, que no tiene porque ser lineal ni tiene porque extrapolar de la misma forma para cada una de las partes del sistema. No es posible dar fórmulas que tengan validez general, pero ante cada caso concreto, un analista que conozca bien el funcionamiento del sistema productivo podrá seguramente obtener estimaciones bastante precisas.

También cabe la posibilidad de realizar croquis a escala o utilizar plantillas de los elementos productivos y situarlas en diversas posiciones hasta alcanzar una disposición satisfactoria a partir de la cual se puede estimar el espacio necesario.

El método o procedimiento del centro de trabajo puede corresponder a las fases finales del estudio de distribución en planta, a saber, la determinación, con todo detalle, de la posición de los elementos productivos en cada sección, pero también es un método para establecer estándares. Se trata de delimitar alrededor de una representación a escala del elemento productivo característico del centro de trabajo (una máquina determinada, una mesa de despacho, etc.) el espacio necesario para los otros elementos que con él concurren en la realización de la tarea (espacio para el operario, las materias primas, los productos terminados, etc.). Así se determinan la forma y las dimensiones del espacio que realmente ocupará el centro de trabajo (además, se deberá tener en cuenta las zonas de circulación).

Obsérvese que, salvo en los procedimientos muy globales de estimación de superficies, será necesario calcular el número de máquinas, de operarios, de mesas, de terminales, etc.

Este cálculo no suele ser sencillo y exige a veces el conocimiento de técnicas o modelos relativamente avanzados. Aquí se supone que la capacidad de producción deseada para el sistema se ha determinado previamente, lo cual supone haber resuelto una cuestión nada

trivial en la que interviene la previsión del mercado y decisiones que exigen un cálculo de costes (si la demanda es estacional, el sistema puede tener capacidad suficiente para atender en cada momento la demanda que se presente, incluso la máxima - y entonces bastará un almacén pequeño - o bien, en otro extremo, puede tener una capacidad de producción igual a la demanda media, con lo cual deberá acumular stock en una parte del ciclo estacional - la de demanda más baja - stock al que se irá dando salida en el período de demanda superior a la media; en este último caso el sistema productivo propiamente dicho tendrá menor capacidad y su coste será menor, pero el almacén deberá ser mayor y lo serán asimismo los costes ligados a los stocks de productos terminados).

En algunos casos, la superficie necesaria depende de las reglas de gestión que se aplican o que se aplicarán, las cuales en general estarán condicionadas por el sistema de información disponible (el espacio requerido para un artículo en un almacén depende del tipo de gestión de los stocks, un sistema JIT - Just In Time - tendrá unos requerimientos de espacio distintos, menores, que los de un sistema en que la dirección de operaciones sea, digamos, tradicional, etc.).

La producción de una máquina, por otra parte, no será nunca igual al producto de su capacidad nominal por el tiempo de funcionamiento de la planta: hay que tener en cuenta tiempos de paro obligados por la propia naturaleza del trabajo de la máquina (carga y descarga), interferencias (hay un tiempo muerto a causa de que el operario no puede atender una máquina por estar ocupado con otra), mantenimiento, averías, incidencias (por ejemplo, una pieza mal colocada en el sistema de alimentación de una máquina automática, la rotura de un hilo en un telar), productos defectuosos, etc.

En la producción en cadena, la elección entre, pongamos por caso, una cadena única con un ciclo muy breve o varias con ciclo más largo tiene repercusiones evidentes en las necesidades de espacio, como las tiene el asignar unas u otras operaciones a las diversas estaciones de trabajo situadas a lo largo de la cadena. Esto explica que muchos autores traten los problemas organizativos del diseño de cadenas, a pesar de que tienen suficiente entidad por sí mismos, junto a la distribución en planta.

En cualquier caso, la estimación de superficies presenta dos peligros, a saber, hacer una estimación equivocada y olvidarse de asignar espacio para alguna actividad. Incurrir en este último error no es nada difícil, especialmente si no se cuenta con alguna experiencia; para evitarlo es conveniente recurrir a listas, tal como la que se presenta en la *figura 6.1.2.28*.

Una vez determinadas las necesidades de espacio para cada centro de actividad se debe confrontar este resultado con las disponibilidades reales (bloque 5 del diagrama SLP en la *figura 6.1.2.1*). Si los locales no existen (su diseño puede ser un resultado del propio estudio de distribución) puede haber una limitación global para el espacio disponible, por razones económicas; además, aun en este caso, si se ha fijado ya el solar en que se ubicarán las instalaciones, su forma y las normas de tipo urbanístico a que se encuentre sometida su utilización pueden determinar no sólo la superficie máxima de que pueda

disponerse sino también una cierta fragmentación de la misma (por ejemplo, diversas plantas de un edificio) que condicionará fuertemente la distribución. Todo ello sucederá también, con mayor motivo, cuando los locales existan antes del estudio de distribución.

Si las necesidades no casan con las disponibilidades se deberá proceder a un ajuste de unas u otras o ambas. Se puede proceder, por una parte, a reformas o ampliaciones de los edificios y, por otra, a reducir los valores calculados para las necesidades de espacio, lo cual normalmente es posible, dentro de ciertos límites, pero implica un aumento de coste. Se puede disminuir, por ejemplo, la superficie prevista para el almacén de materias primas pero ello exigirá la utilización de equipos más complejos u obligará a lanzar pedidos por cantidades menores y, por consiguiente, con mayor frecuencia que las que corresponderían a una gestión óptima en el caso de que el almacén tuviera capacidad suficiente; se puede reducir el espacio destinado a almacenamiento de los productos en curso de elaboración entre dos máquinas que intervienen sucesivamente en la fabricación de determinado producto, pero será a costa de interrupciones del proceso productivo que no se producirían si hubiera espacio suficiente.

- Almacén de materias primas
- Obra en curso
- Almacén de productos terminados
- Pasillos
- Recepción y expedición
- Almacén de equipos móviles de manutención
- Almacén de herramientas
- Mantenimiento
- Embalaje
- Mandos
- Inspección y control de calidad
- Instalaciones médicas y botiquín
- Cantina
- Lavabos, duchas
- Oficinas
- Aparcamiento para empleados y visitas
- Aparcamiento vehículos de transporte y muelles de recepción y expedición
- Almacén de materias fungibles y varios

Fig. 6.1.2.28 Actividades o funciones que requieren espacio

Diagrama de relación de espacios

Una vez hechas estas adaptaciones se puede establecer el diagrama de relación de espacios (bloque 6 en la *figura 6.1.2.1*), que es fácil de describir a partir del diagrama de relación de actividades, puesto que se distingue de él únicamente por el hecho de que los símbolos representativos de los centros de actividad se dibujan en él a escala, de modo que la superficie del símbolo sea proporcional a la que será necesaria en realidad para el centro de actividad que representa. Un ejemplo de diagrama de relación de espacios puede verse en la *figura 6.1.2.29*.

La representación del centro de actividad puede incluso tener la forma que en principio se considera adecuada para dicho centro. Si el local o locales son ya conocidos, el diagrama de relación de espacios se puede dibujar sobre una representación a escala de los mismos, respetando las zonas impracticables (huecos de escaleras, ascensores, etc.), con lo que prácticamente se obtendrá ya una solución. No conviene, de todos modos, ir muy lejos en esta línea porque no se ha de perder de vista la complejidad del problema de distribución, en virtud de la cual, es conveniente, como se ha dicho ya, no limitarse a una distribución ni a un solo esquema básico de distribución. El diagrama de relación de espacios se ha de concebir como un punto de partida y un instrumento para generar un cierto número de distribuciones en planta y no como la representación esquemática de una distribución en planta concreta.

Las líneas generales de estas soluciones alternativas se pueden obtener dotando de movilidad, por así decirlo, a las figuras que representan los centros de actividad en el diagrama, sin perder de vista la importancia relativa de sus relaciones. Tal "movilidad" se puede materializar a través del dibujo o a base de recortar unas cartulinas o piezas de plástico iguales a las figuras del diagrama o que representen determinados módulos (por ejemplo, un cuadrado de 5 metros de lado).

Ahora bien, el instrumento idóneo para esta actividad es un ordenador; no es muy difícil preparar un programa que represente el diagrama de relación de espacios en la pantalla, genere variantes, según las indicaciones del usuario, y las evalúe. La idea es muy sencilla, pero está en la base de programas más evolucionados para el diseño de distribuciones en planta. De todos modos, el papel del ordenador en el planteamiento de distribuciones en planta merece un comentario más extenso y se le dedica un apartado posteriormente.

Desarrollo, presentación y elección de soluciones

Las soluciones a comparar resultarán del diagrama de relación de espacios teniendo en cuenta aspectos de que se habrá prescindido, en mayor o menor medida, hasta ese momento (bloques 7 y 8 en el diagrama de la *figura 6.1.2.1*). Tener en cuenta todos los

condicionamientos desde el inicio del estudio es muy difícil y además tiende a restringir más de lo conveniente el planteamiento de esquemas de solución; por otra parte, no se puede prescindir por completo, hasta una fase tan avanzada del estudio como la que ahora se comenta, de tales condicionamientos porque se corre el peligro de producir planteamientos inviables. En una presentación formal un método aparece casi siempre como una secuencia rígida de actividades, en cada una de las cuales sólo se tienen en cuenta los resultados obtenidos en las anteriores; en la práctica, la aplicación de un método suele evocar más la figura de la espiral que la recta: se trata de un proceso iterativo en que cada ciclo corresponde a un determinado nivel de profundidad y en el cual, al realizar una actividad se tiene en cuenta cuáles van a sucederle.

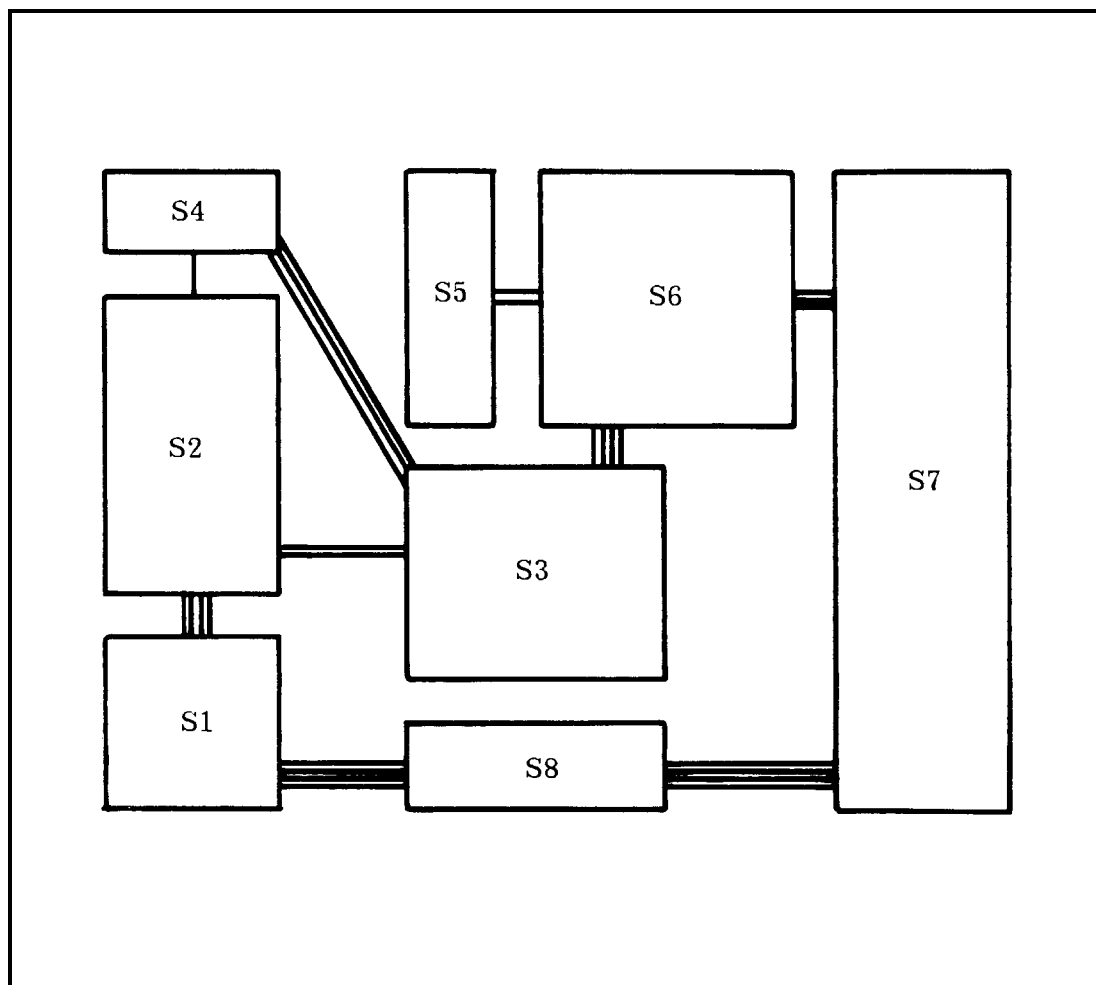


Fig. 6.1.2.29 Diagrama de relación de espacios correspondiente al de relación de actividades de la figura 6.1.2.27

Más, ciertamente, aspectos ha de haber y habrá no tenidos en cuenta o considerados sólo parcialmente, tales como pueden ser características constructivas de los edificios, orientación de los mismos, usos del suelo en las áreas colindantes a la que es objeto del estudio, equipos de manutención, disponibilidad insuficiente de recursos financieros, vigilancia, etc. Uno de estos aspectos, muy a tener en cuenta al diseñar una distribución en planta y que merece sin duda un comentario, es la seguridad de las personas y de los equipos. Una visión estrecha que dé prioridad a una mal entendida economía de espacio puede dar lugar a distribuciones de alto riesgo para las personas y las instalaciones, lo cual es desde luego inadmisibles y además, a la corta o a la larga, muy costoso. La *figura 6.1.2.30* contiene algunas consideraciones elementales sobre este tema.

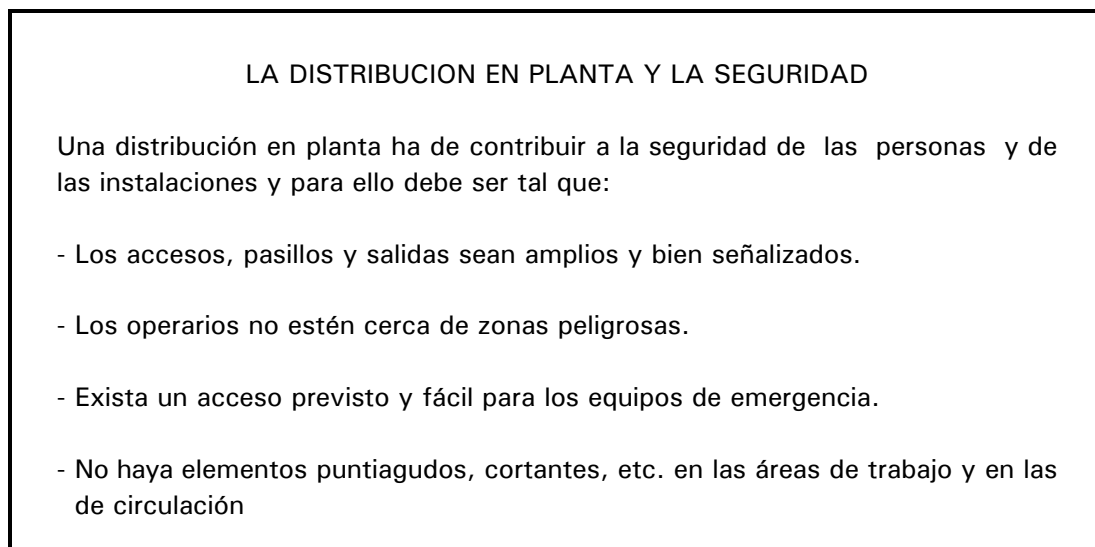


Fig. 6.1.2.30 Observaciones sobre la distribución en planta y la seguridad

A primera vista puede parecer que los horarios de trabajo no tienen repercusión alguna en la distribución en planta pero, a poco que se piense en ello, se hace evidente justamente lo contrario. La implantación de turnos nuevos para aumentar la utilización de las instalaciones y la producción por período tiene como consecuencia, a causa precisamente del aumento de producción, una mayor necesidad de espacio para recepción y almacenamiento de materias primas y para almacenamiento y expedición de productos acabados. Además, la implantación de nuevos turnos suele implicar cambios en el funcionamiento de determinados servicios (como el de mantenimiento), algunos de los cuales pueden repercutir en la validez de la distribución. Es frecuente, por otra parte, en las empresas que trabajan a turnos, que los horarios de los turnos e incluso el número de turnos no sean los mismos para todas las secciones; ello obliga a prever espacios para almacenamiento intermedio por el desequilibrio que se produce entre las diversas fases del proceso productivo.

La obtención de soluciones (bloque 9 en la *figura 6.1.2.1*) es un proceso que exige creatividad y que debe desembocar en un cierto número de propuestas (más de una, pero no muy numerosas, no más de cinco en cualquier caso) elaboradas de forma suficientemente precisa, que resultarán de haber estudiado y filtrado un número mayor de alternativas desarrolladas sólo esquemáticamente.

El plantearse como objetivo la obtención de más de una solución es una forma de forzar la creatividad. Esta es una cualidad de los individuos pero, como todas ellas, se puede desarrollar con método y experiencia. La falta de creatividad puede ser especialmente negativa cuando se trata de una reforma, porque entonces tiende a imponerse la tendencia a aceptar la distribución existente como punto de partida y a limitarse a modificaciones que no alteran el esquema básico.

Krick ha recopilado una lista de preceptos o consejos para estimular la creatividad:

- 1.- *Ejercer el esfuerzo necesario*: Fijarse un tiempo y dedicarlo íntegramente al problema, aunque antes parezca que se ha obtenido una solución satisfactoria.
- 2.- *No entrar en detalles demasiado pronto*.
- 3.- *Adoptar sistemáticamente una actitud interrogativa*: Las típicas pregunta *qué, quién, cuándo, dónde, cómo y por qué* deben formularse para cada aspecto del problema.
- 4.- *Establecer como objetivo un número fijo de alternativas*.
- 5.- *Evitar la actitud conservadora* de ceñirse a lo ya existente.
- 6.- *Evitar el rechazo prematuro*: una evaluación somera y equivocada en una fase temprana del diseño puede descartar ideas excelentes.
- 7.- *Evitar la satisfacción prematura*, es decir, no dejar de buscar soluciones aunque se haya obtenido una que parezca insuperable.
- 8.- *Buscar ideas en las soluciones a problemas análogos*, a través de publicaciones, proyectos ya realizados, etc.
- 9.- *Consultar a otras personas*, técnicos en la materia y usuarios.
- 10.- *Alejar el pensamiento de la solución existente*.
- 11.- *Trabajar en equipo* para generar ideas (*brainstorming*).
- 12.- *Ser consciente de las limitaciones de la mente en el proceso de generación de ideas*, para prevenirse de tendencias negativas, tales como la de imponer restricciones ficticias, aceptar o rechazar prematuramente, etc.

Esta lista es una versión algo resumida, pero no modificada, de la de Krick. Evidentemente, contiene algunas redundancias y se puede pensar que algunos de los consejos son irrelevantes o que son expresión únicamente de buenos deseos. Pero no es trivial, y su aplicación rigurosa puede ayudar a la obtención de buenos resultados.

El punto 10, que aconseja alejar el pensamiento de la solución existente, merece, no obstante, alguna matización. En general, como es práctica habitual en los estudios de mejora de métodos, cuando se trata de mejorar un sistema organizativo o un aspecto del mismo que existe y funciona, se considera como punto de partida para el planteamiento de la nueva solución la descripción y crítica de la que existe. La propuesta puede y muchas veces debe ser muy distinta de la antigua, pero no se ha de perder de vista que ésta ha sido resultado de un estudio más o menos formal y más o menos bien realizado pero que en todo caso de alguna forma expresa los objetivos y las restricciones que había en el momento en que se planteó o puso en marcha y, en parte al menos, su evolución posterior; de hecho, aunque no siempre se haga esto explícito, éste es un motivo de fondo para el estudio de la solución antigua, que se ha de llevar a cabo no tanto con la preocupación de justificar la superioridad de la nueva solución como con la de descubrir necesidades y motivos, que muchas veces sólo se pueden detectar a través de su reflejo en el sistema productivo.

Una vez desarrolladas las soluciones, hay que proceder a seleccionar una de ellas.

Normalmente, en esta decisión intervendrán personas que no han participado en todas las etapas del diseño y que, por consiguiente, no conocen las soluciones propuestas o al menos no las conocen en detalle.

Por ello, es muy importante una buena presentación, que permita una comprensión cabal de lo que se propone.

Con este fin, cabe utilizar diversos instrumentos tales como los diversos diagramas de descripción de recorridos a que se ha hecho referencia en puntos anteriores o como planos y maquetas en dos o tres dimensiones. Se puede hacer uso de plantillas y de materiales diversos (plástico, madera, cartón) así como de cintas adhesivas para indicar paredes u otros elementos de separación. La confección de cualquiera de estas formas de presentación es cara y como no se ha de descartar que sean objeto de modificaciones es muy conveniente prepararlas de forma que éstas puedan ser rápidamente y económicamente llevadas a cabo, para lo cual es importante la adecuada elección de los materiales. Desde luego, se puede recurrir también a representaciones en una pantalla de ordenador o de terminal.

No se trata, con estas formas de presentación, de conseguir un gran realismo, sino de exponer con claridad las soluciones obtenidas. Por ello puede ser conveniente representar algunos elementos en un plano y otros en tres dimensiones (por ejemplo, representar las

máquinas mediante maquetas tridimensionales y las paredes mediante trazos o cintas adhesivas para poder tener una visión de conjunto de la distribución).

Por supuesto, las maquetas pueden emplearse también en el proceso de diseño, para comprobar la factibilidad de las soluciones o de algunos aspectos de las mismas, pero encuentran su mayor utilidad en las presentaciones.

El otro aspecto esencial en la elección de soluciones es su evaluación. De hecho, la decisión sobre la distribución en planta es un problema multicriterio, tal como el de localización, con el que tiene muchos puntos de contacto y también algunas diferencias. Son aplicables aquí, en general, las consideraciones efectuadas en el capítulo dedicado a la localización, teniendo en cuenta lo que se indica a continuación.

En determinadas etapas del problema de localización el número de soluciones a considerar puede ser bastante elevado, lo que obliga a utilizar algún procedimiento para cribarlas. En lo que respecta a la distribución en planta, el número de soluciones entre las que se plantea la selección es forzosamente muy reducido, puesto que consideraciones económicas y de plazo impiden prácticamente desarrollar más de dos o tres posibilidades en la inmensa mayoría de los casos. Ello simplifica las cosas, puesto que de hecho bastará evaluar cada solución en relación a cada uno de los criterios retenidos, lo que se puede recoger en tablas como las descritas en el capítulo sobre localización; incluso, cuando la elección se plantea entre dos soluciones únicamente, puede bastar una relación cuantificada de ventajas e inconvenientes.

Los criterios y su importancia relativa pueden variar según las circunstancias, pero normalmente se utilizará un subconjunto de la relación que aparece en la *figura 6.1.2.31*.

Desde luego, un criterio que siempre deberá intervenir es el coste y a este respecto conviene no olvidar que se ha de tener en cuenta el coste de la instalación (es decir, la inversión, que cuando se trata de una reforma ha de incluir las perturbaciones y pérdidas de producción) y el coste de funcionamiento.

Finalmente, en lo referente a la implantación y puesta en marcha son aplicables las mismas consideraciones que a cualquier tipo de proyecto industrial.

6.1.3 Utilización de ordenadores

Es evidente que, en el proceso de diseño que se ha descrito, los ordenadores pueden constituir una gran ayuda en muchos momentos, como herramienta para analizar, almacenar, elaborar y representar información. Pero esto no es privativo de los estudios de distribución en planta a los cuales, además, el ordenador puede aportar ayudas específicas.

CRITERIOS PARA LA SELECCION DE DISTRIBUCIONES EN PLANTA

- Facilidad de expansión
- Flexibilidad
- Eficacia en la manipulación de materiales
- Utilización del espacio
- Seguridad
- Condiciones de trabajo
- Aspecto, valor promocional
- Adaptación a la estructura orgánica
- Utilización de los equipos
- Facilidad de supervisión y control
- Inversión
- Coste de funcionamiento

Fig. 6.1.2.31

De hecho, la distribución en planta es un campo de aplicación típico para las técnicas de CAD (*Computer Aided Design*, diseño asistido por ordenador). Esto es así teóricamente, aunque en la práctica no se haya avanzado tanto, pese a algunas aplicaciones puntuales, como cabría esperar o como se podía suponer cuando, hace ya un cuarto de siglo, se dieron a conocer los primeros programas de ordenador para ayudar a la obtención y evaluación de distribuciones en planta. Tal vez estos programas se adelantaron a las posibilidades técnicas de su tiempo y sus resultados no completamente satisfactorios no contribuyeron a impulsar la utilización de los ordenadores sino a su estancamiento.

Pero está claro que las posibilidades que puede ofrecer un sistema CAD, (tales como el almacenamiento de representaciones de los elementos que intervienen en el problema, simulaciones, cálculos de costes, dibujos y sus modificaciones o representaciones bi y tridimensionales desde distintos puntos de vista) son de gran utilidad para el desarrollo, evaluación y presentación de soluciones.

En el estado actual de su evolución, la tecnología informática permite que un ordenador personal o un terminal, con su capacidad de interacción sistema-usuario, sean instrumentos idóneos para llevar a cabo un estudio de distribución en planta, desde su inicio hasta la obtención de los planos.

Pero el aspecto más característico de este proceso es indudablemente la generación de soluciones y éste es el que se comentará a continuación.

Según H. Lee Hales, en 1984 se habían publicado ya más de cincuenta algoritmos con este fin, todos los cuales daban como resultado una representación gráfica a escala de la distribución en planta.

Los más conocidos se refieren a edificios de una sola planta, pero hay también algoritmos para el tratamiento de distribuciones multiplanta.

Algunos de estos últimos llegan a obtener una distribución esquemática para cada planta; otros, se reducen a asignar los centros de actividad a los pisos.

En cuanto a los algoritmos para la distribución en planta en dos dimensiones, se pueden clasificar en los dos tipos siguientes:

Algoritmos de mejora: Parten de una solución y la modifican con el fin de obtener reducciones en los costes.

Algoritmos constructivos: Generan una solución a partir de los datos del problema.

Sea cual sea el tipo del algoritmo y sus peculiaridades, sus datos básicos son una tabla valorada de relación de actividades (como la de la *figura 6.1.2.26*, junto con una correspondencia entre las letras y una escala numérica), con la superficie necesaria para cada una de ellas, e información sobre los volúmenes de producción. Estos datos son necesarios para evaluar las soluciones, con el fin de poderlas comparar, o para generar soluciones en vistas a conseguir un determinado objetivo.

Algoritmos de mejora

El primero cronológicamente de los algoritmos para el diseño de distribuciones en planta y el prototipo de los denominados de mejora es el denominado CRAFT, desarrollado por Buffa y sus colaboradores.

Además de los datos comunes a los demás algoritmos, los de mejora incluyen también la descripción de una distribución en planta que se toma como punto de partida.

En el caso de CRAFT, el contorno del edificio ha de ser rectangular, pero la posibilidad de introducir centros de actividad ficticios y de fijar la posición de cualquier centro permite en realidad tratar edificios de formas cualesquiera.

CRAFT calcula, para la distribución de partida, las distancias entre los centros de las áreas dedicadas a cada actividad (considerando una distancia rectangular) y, a partir de ellas, el coste de los movimientos.

Después, en cada iteración, el algoritmo considera, para los centros de actividad susceptibles de desplazamiento, sus posibles intercambios con otros y calcula, para cada uno de estos intercambios potenciales, la variación del coste. Si ningún intercambio produce una reducción de coste superior a un cierto valor, el algoritmo termina; si no, se realiza el intercambio y se obtiene así una nueva solución, a partir de la cual se sigue iterando.

Como se puede apreciar, pues, el algoritmo CRAFT está estrechamente emparentado con el algoritmo heurístico para la asignación cuadrática que se describe en la *figura 5.1.3.10*, pero este último incluía un procedimiento para generar la solución inicial, que en CRAFT se obtiene manualmente. Dicha solución inicial, por supuesto, condiciona el resultado, por lo que es conveniente pasar diversas veces el algoritmo, cada una con una solución inicial diferente y comparar los resultados obtenidos.

El mayor inconveniente de CRAFT es que proporciona soluciones poco realistas, con líneas de separación poco regulares que dan lugar a formas difíciles de llevar a la práctica o claramente inconvenientes (*fig. 6.1.3.1*). Normalmente es obligado, por tanto, proceder a ajustes manuales, pero ello puede resultar a veces excesivamente complicado.

Las ideas básicas de CRAFT han sido completadas posteriormente con diversas mejoras.

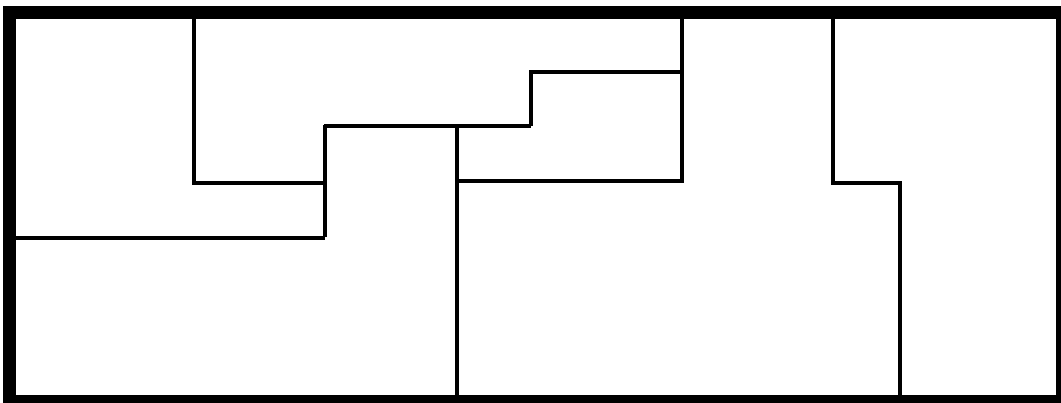


Fig. 6.1.3.1 Una muestra del tipo de soluciones que se puede obtener con el programa CRAFT

Algoritmos constructivos

Dentro de este tipo caben, al menos, dos enfoques básicos que se pueden presentar a través de los algoritmos más conocidos de cada uno de ellos, a saber, CORELAP y ALDEP.

CORELAP empieza calculando para cada centro de actividad la suma de las evaluaciones de su relación con cada una de las demás. La actividad a que corresponde una suma mayor se coloca en primer lugar, en lo que será aproximadamente el centro de la distribución en planta. Después, en cada iteración se coloca la actividad cuya proximidad a las ya colocadas sea mayor.

La solución obtenida mediante CORELAP puede tener un aspecto como el de la *figura 6.1.3.2*, que se caracteriza por la irregularidad de las formas de las secciones y del edificio, hasta el punto de que puede no ser practicable, salvo ajuste manual.

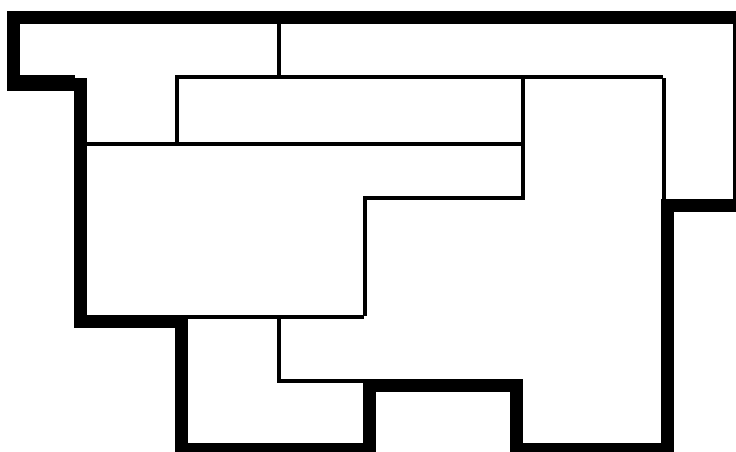


Fig. 6.1.3.2 El programa CORELAP, con secciones y superficies similares a las que corresponden a la figura anterior, podría proporcionar una solución como la que aparece en la figura

El enfoque aplicado en ALDEP permite superar esta grave dificultad. Los datos para ALDEP incluyen la forma del edificio y la posición de elementos fijos (tales como huecos de ascensor, escaleras, etc.) y, si se desea, el emplazamiento que se haya decidido fijar para determinados centros de actividad. ALDEP utiliza un algoritmo de "barrido": considera el edificio dividido en franjas, coloca un centro de actividad elegido al azar en el rincón noroeste y, "barriendo" las franjas, va colocando los demás sucesivamente en el orden que marca su deseable proximidad con los ya colocados (*fig. 6.1.3.3*).

Desde luego, la solución obtenida depende de la actividad que se coloca primero, por lo cual es conveniente efectuar un cierto número de pases de ALDEP y comparar finalmente las soluciones obtenidas.

El enfoque de ALDEP restringe de hecho la gama de soluciones consideradas, lo que posiblemente le impide en muchos casos acercarse al óptimo, pero tiene la contrapartida de obtener soluciones con líneas divisorias bastante regulares y, por consiguiente, susceptibles de ser llevadas a la práctica sin o con pocas adaptaciones.

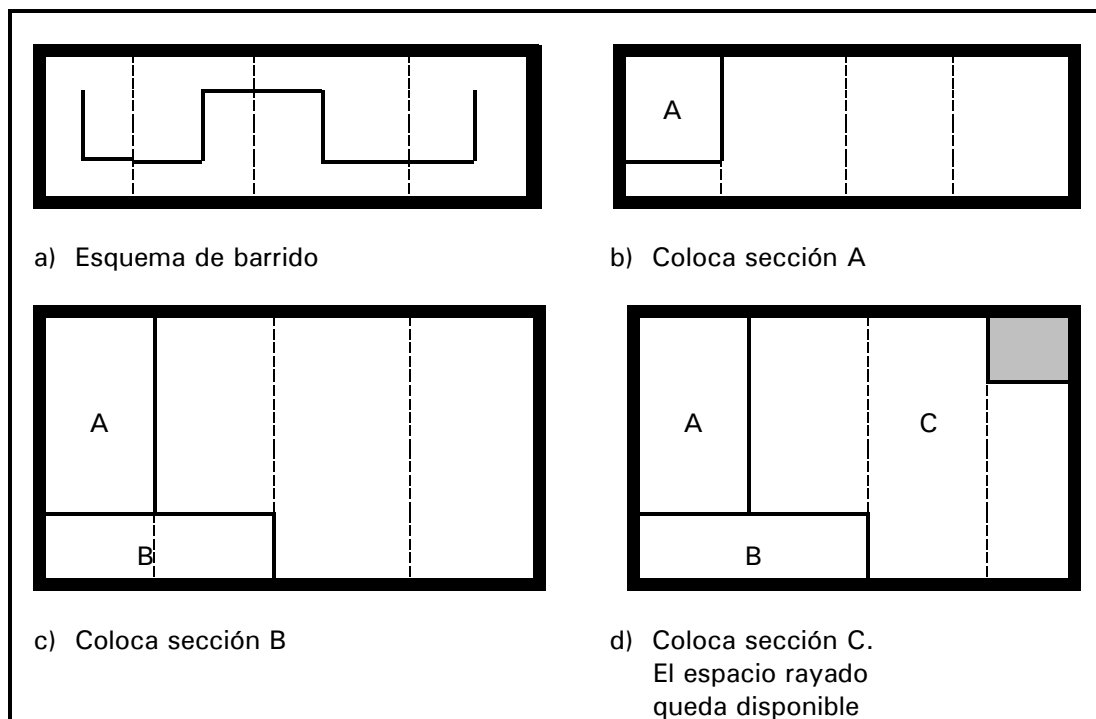


Fig. 6.1.3.3 Esquema de barrido en que se basa el programa ALDEP y aplicación a un ejemplo con tres secciones

Comentarios finales sobre los programas de ordenador para el diseño de distribuciones en planta

Parece claro que hoy por hoy no se puede diseñar una distribución en planta de forma automática. Al contrario, este proceso de diseño es, como se ha podido apreciar, muy complejo y exige integrar una gran cantidad de información de diversos tipos y para ello es indispensable la experiencia y el buen juicio.

Los programas pueden ayudar a esta tarea utilizados en el momento oportuno del desarrollo del método y aplicados a un ámbito apropiado.

Una de las dificultades que presenta su uso es que los tiempos de cálculo pueden ser, a pesar de las grandes velocidades de cálculo de los ordenadores, muy elevados; téngase en cuenta que el número de relaciones entre actividades crece con el cuadrado del número de ellas y que, por consiguiente el volumen de los cálculos crece más que linealmente con la dimensión del problema. Pero si el SLP u otro método similar se aplican jerárquicamente, aumentando progresivamente el nivel de detalle, y si se toman determinadas decisiones

para conjuntos de actividades (por ejemplo, establecer qué actividades van en cada piso en un caso de distribución multiplanta), no ha de ser necesario trabajar simultáneamente con muchos centros de actividad y, desde luego, no conviene hacerlo.

Los programas actualmente disponibles y los que han de ir apareciendo sin duda en un futuro inmediato son, pues, herramientas que serán cada vez más útiles. La decisión sobre cuáles utilizar se deberá basar en una información actualizada sobre algo tan dinámico como es el mercado del software.

6.1.4 Consideraciones adicionales sobre la distribución en planta en almacenes, oficinas y servicios

Lo dicho hasta aquí es válido generalmente para cualquier tipo de sistema productivo, pero la referencia más o menos explícita suelen ser los sistemas de producción y montaje. Cuando se trata de establecer la distribución en planta para otros tipos de sistemas conviene tener en cuenta sus peculiaridades y también, como se verá, darse cuenta de sus analogías, no siempre obvias, con los sistemas industriales.

Almacenes

En muchas ocasiones la estructura de los itinerarios en un almacén es particularmente sencilla, porque los movimientos se producen sólo entre las puertas o muelles de carga y descarga y los emplazamientos de los materiales y no entre estos últimos.

Mas, desde luego, no siempre ocurre así; si hay muchos pedidos de unas pocas unidades del mismo producto o si los pedidos comprenden una variedad de productos resultaría costosísimo realizar para cada unidad, o conjunto de unidades idénticas, de las que componen el pedido un desplazamiento de ida y vuelta. Para evitarlo hay diversas soluciones, como por ejemplo, establecer para cada pedido una ruta (la optimización de la cual no es, por cierto, un problema sencillo) o agregar las unidades idénticas de diversos pedidos para formar lotes de recogida (si el almacén es grande puede establecerse una división en zonas, y asignar a cada una de ellas un operario o un dispositivo automático de recogida). En el enfoque de recogida por lotes el almacén ha de comprender una zona más o menos extensa para el "montaje" de los pedidos.

Un aspecto que complica la asignación de espacios a los diversos productos es la estacionalidad de la demanda. En un almacén de estufas y ventiladores, pongamos por caso, la asignación óptima en verano será muy distinta de la que sería óptima en invierno pero, en general, evidentemente, no es factible reorganizar el almacén con la frecuencia a que se suceden las estaciones del año.

En lo relativo a la asignación de espacio a los diversos productos, una solución clásica consiste en asignar una zona, fija, a cada uno de ellos. Este enfoque da lugar a una distribución rígida que, por ello, puede causar un cierto desaprovechamiento del espacio. Su ventaja más evidente es la facilidad para localizar los productos.

Actualmente, las tecnologías disponibles para el tratamiento de la información permiten una localización dispersa y dinámica del espacio (para lo cual puede haber reglas diversas; por ejemplo, colocar las unidades en el espacio disponible que esté más cerca). Cuando se ha de satisfacer un pedido, las unidades no se buscan directamente en el almacén sino en el archivo informático que lo representa; el ordenador no sólo puede emitir una nota con la localización del producto que se desea sino que puede además determinar las rutas cuando se trata de diversos pedidos o de pedidos que constan de varias unidades.

Oficinas

La distribución de las oficinas presenta problemas muy específicos a los que se ha dado soluciones muy dispares, según el tipo de actividad, la estructura de la organización, las opiniones, no siempre unánimemente compartidas, de los responsables de la distribución y, por lo menos algunas veces, según la moda imperante.

La distribución en planta de una oficina ha de alcanzar el equilibrio adecuado, para las funciones de que se trate, entre los objetivos de comunicación y control, por una parte, e intimidad o aislamiento por otra. Para ciertos trabajos, la posibilidad de comunicarse rápidamente con otras personas de la oficina es muy importante. Para otros, lo es, sobre todo, poder concentrarse, sin perturbaciones acústicas o visuales, o tener la posibilidad de mantener conversaciones confidenciales con las visitas. Pero aislar visual y acústicamente los puestos de trabajo es rígido y caro (se consume más espacio y más materiales - tabiques, aislantes, puertas, etc. -) y hace más difícil el control. En las que se puede denominar distribuciones en planta tradicionales, el equilibrio entre los objetivos contrapuestos se alcanza mediante puestos de trabajo aislados para ciertos empleados y áreas abiertas para otros.

Una alternativa más moderna (aunque las primeras realizaciones de este tipo de distribuciones se remontan, por lo menos, al final de los años 50) es la oficina abierta, que alberga en una misma área, sin particiones, a todos los empleados, incluyendo a los directivos; lo que se llama oficina - - paisaje es una variante que matiza esta idea básica: se consigue un cierto aislamiento entre los diversos puestos de trabajo mediante mamparas, plantas de interior, etc. Desde luego, hay que cuidar especialmente las condiciones acústicas del local lo que puede exigir el uso de algunos materiales especiales, pero aún así estas distribuciones resultan mucho más baratas que las tradicionales y, por supuesto, mucho más flexibles.

En las distribuciones hasta aquí consideradas cada puesto de trabajo debe estar equipado de forma adecuada para las funciones que tiene asignadas (teléfono, terminal, ordenador, etc.). Tradicionalmente, el equipo de un puesto de trabajo administrativo tenía un bajo coste, pero actualmente la inversión, aunque no alcanza en general ni mucho menos la correspondiente a un puesto de trabajo industrial, puede ser considerable; por otra parte, la utilización de los equipos suele ser baja. De estas consideraciones surge un concepto, el de centro de actividad, que da lugar a un nuevo enfoque de las distribuciones en planta de oficinas, del cual son escasas hasta ahora las realizaciones prácticas. Se trata de crear áreas con funciones específicas: reuniones, recepción de visitas, fotocopias (de hecho, existen desde hace tiempo en muchas oficinas secciones de fotocopia: a causa del coste elevado de los aparatos no resulta rentable asignarlos a los puestos de trabajo), terminales, etc. Los empleados disponen de un puesto base propio, pequeño y poco equipado, y se desplazan de unos a otros centros de actividad a medida que su trabajo se lo exige. Algunos inconvenientes de este tipo de solución parecen evidentes, pero la utilización de los equipos será más alta y, por consiguiente, la inversión, más reducida.

Finalmente, conviene no olvidar que el desarrollo de la informática y de las telecomunicaciones ofrece posibilidades insospechadas para resolver problemas organizativos tradicionales ("reuniones" a través de una red informática, transmisión de documentos a gran velocidad y bajo coste, posibilidad de trabajar en el domicilio particular con un ordenador o con un terminal, etc.) pero la exploración a fondo de las consecuencias que pueden deducirse a partir de esta observación conduciría a este texto lejos de sus objetivos principales.

Servicios

Ya se ha dicho que los servicios son un sector muy heterogéneo sobre el cual, por consiguiente, es muy difícil realizar afirmaciones que tengan validez general.

Es cierto muchas veces, no obstante, que la circulación de materiales apenas existe o tiene muy poca importancia. No siempre, desde luego; piénsese, por ejemplo en la gestión una cadena de hamburgueserías (que implica un importante flujo de materiales, desde el aprovisionamiento, probablemente centralizado, y la elaboración hasta el consumidor) o en la manipulación de equipajes y mercancías en un aeropuerto.

Mas cuando no hay circulación de materiales en un servicio, suele haber circulación de personas (servicios médicos, restaurantes de autoservicio, oficinas bancarias, etc.).

Sean materiales o personas o unos y otras, lo cierto es que el estudio de los flujos tiene una gran importancia para un adecuado planteamiento del servicio. Una vez dicho, esto es obvio, pero también es evidente que en muchos servicios este estudio no se ha llevado jamás a cabo y ello repercute en un funcionamiento muy deficiente.

El que los elementos que circulan sean personas tiene importantes implicaciones en la

distribución en planta. Esta ha de ser confortable para sus usuarios y en muchos casos ha de garantizar la intimidad (o privacidad, si se admite este anglicismo) en las actividades que tienen lugar en la instalación (bancos, asesores fiscales, despachos de abogados, notarios, médicos, etc.). Por supuesto, ha de satisfacer también exigencias estéticas que serían distintas y más débiles si el usuario no tuviera que estar presente.

La peculiaridad de los servicios no es obstáculo para que se les puedan aplicar muchas veces las técnicas características de la organización industrial, que han surgido y se han desarrollado principalmente en el seno del sector secundario, pero cuya aplicación al terciario es fructífera como se ha podido demostrar repetidamente. La idea de aplicar la organización industrial a los servicios puede parecer bastante nueva (de hecho las publicaciones que la desarrollan sólo son relativamente numerosas desde hace poco más de quince años), pero en realidad se remonta por lo menos a las primeras décadas de este siglo. El mismo Henry Ford advirtió las ventajas que podían derivarse de la aplicación del enfoque industrial a la gestión de hospitales y Frank B. Gilbreth dedicó considerable atención al estudio de actividades médicas, tales como las operaciones quirúrgicas. Aunque el concepto tardó en abrirse paso, actualmente no es concebible la gestión de cualquier aspecto de una actividad terciaria importante (desde la gestión de servicios de emergencia hasta la organización de unos juegos olímpicos) sin un enfoque de organización industrial.

Al estudiar la distribución en planta de un servicio es útil, por consiguiente, pensar en sus analogías con sistemas industriales, con el fin de aplicar los conceptos que en éstos han demostrado sobradamente su eficacia.

Así, en ciertos servicios será apropiada una distribución en planta orientada al proceso (la mayor parte de servicios médicos, pero no todos, como se comentará más adelante). En otros, lo mejor será una orientación al producto, como en el ya mencionado caso del restaurante en autoservicio, verdadera cadena de montaje, en que el producto es el almuerzo o cena, a cuya producción contribuyen los empleados del restaurante y el propio usuario; este punto de vista permite plantear racionalmente la distribución y mejorar el funcionamiento del sistema, tal como ilustra la *figura 6.1.4.1*.

También en los servicios es útil el análisis P-Q. Ello permite clasificar los productos y establecer distribuciones en planta adecuadas para cada grupo. Por ejemplo, en un hospital, como se ha dicho, la distribución típica es por proceso, pero puede haber servicios homogéneos y con mucha demanda que admitan o aconsejen una distribución orientada al producto.

Es bastante conocido, puesto que incluso ha aparecido en la prensa diaria, el ejemplo de las operaciones oculares en cadena: en una de las instalaciones en funcionamiento, las camillas con los pacientes se desplazan sobre unos raíles y pasan sucesivamente por cinco estaciones de trabajo atendidas por otros tantos cirujanos, supervisados por un especialista a través de un circuito cerrado de televisión; una operación de miopía tiene una duración aproximada de quince minutos. Es una aplicación del taylorismo y el fordismo curiosa por más de un motivo y, desde luego, muy útil.

Un concepto ya específico de los servicios es el de núcleo técnico. En todo servicio hay actividades que se desarrollan en contacto con el cliente y otras que se llevan a cabo sin su presencia. En las primeras, la flexibilidad, la amabilidad en el trato, etc. tienen la máxima importancia y son difíciles de programar puesto que la demanda es heterogénea en su contenido y se presenta irregularmente. Las actividades que se efectúan sin contacto con el cliente pueden ser asignadas al núcleo técnico, que conviene organizar como una planta industrial, de mayor o menor envergadura, dentro del servicio (ejemplos: manipulación de equipajes en aeropuertos, proceso de documentos bancarios, lavado de ropa - toallas, sábanas, etc. - en un hotel, etc.).

ACTIVIDAD Nº	DESCRIPCION	TIEMPO (seg)	TASA HORARIA	
			A	B
1	Coger bandeja, cubiertos, etc (autoservicio)	20	180	180
2	Servir primer plato	15	240	240
3	Servir segundo plato	25	144	144
4	Coger postre y bebida (autoservicio)	30	120	120
5	Cobrar	50	72	144
SERVICIOS POR HORA			72	120

RESTAURANTE DE AUTOSERVICIO

A.- 3 empleados (actividades 2, 3 y 5, respectivamente)

B.- 4 empleados (uno en 2, otro en 3 y 2 en 5)

Fig. 6.1.4.1 Cálculo aproximado de la capacidad de un restaurante de autoservicio (en el supuesto de que los cuellos de botella no sean la cocina ni el comedor). En el caso A hay un empleado para cada actividad (excluyendo las que lleva a cabo el propio cliente); en el B, hay dos cajeros. La capacidad horaria corresponde a la actividad de menor capacidad (la 5 en el caso A y la 4 en el caso B). Obsérvese que un empleado más permite aumentar la capacidad del sistema en dos terceras partes. Si los tiempos fueran constantes el cálculo sería exacto, pero en la realidad hay variaciones aleatorias que complican bastante el problema

Finalmente, un aspecto muy característico de los servicios que tiene una fuerte incidencia en la distribución en planta son las colas.

Desde luego, las colas no son privativas de los servicios. Colas las hay en todas partes y, por supuesto, en la industria, donde todo stock de materias primas, de materiales en curso o de productos acabados es una cola de objetos que esperan turno para salir del almacén o para ser procesados por una máquina. Pero en los servicios las colas suelen tener aún mayor importancia, por diversos motivos.

Por una parte, la demanda presenta estacionalidad y es heterogénea, puesto que el servicio que demanda un cliente puede ser distinto del que otro necesita y, por consiguiente el tiempo para prestarlo será también distinto. En general, los servicios son intangibles y por consiguiente no almacenables por lo que el acoplamiento entre producción y demanda no puede hacerse a través del stock y en definitiva aparece la cola (una buena gestión puede atenuarla, por diversas vías, pero no es ésta la cuestión a tratar aquí). Por otra parte, en los servicios las colas suelen ser de personas y no de objetos y ello es lo que sin duda tiene mayores implicaciones para la distribución en planta.

En todo punto en que se pueda producir una cola se tiene que prever un espacio para albergarla (desde luego una cola no tiene porque materializarse en una fila: las personas que se sientan en las butacas de una sala de espera forman también una cola en el sentido en que aquí se habla de ellas) y prever cuál será la configuración de la cola o colas.

Esto último incluye la decisión sobre el número de unidades de servicio, que es función de la demanda y de su distribución a lo largo del tiempo, de la distribución del tiempo de servicio y de los costes o del nivel de servicio que se establezca como objetivo.

Las unidades de servicio pueden ser iguales y polivalentes o bien especializadas, en cuanto a sus funciones o en relación al tipo de unidades que tienen asignadas (por ejemplo, en un supermercado puede haber una o varias cajas destinadas a las compras que no incluyan más de un cierto número de artículos o que sean las únicas en admitir pago mediante tarjeta de crédito). La especialización permitirá probablemente prestar un mejor servicio pero habrá, en promedio, más colas; en efecto, si hay n unidades no especializadas, sólo hay cola cuando hay más de n unidades en el sistema, pero si cada unidad sólo atiende a un determinado tipo de cliente o presta un determinado tipo de servicio puede haber cola en unas unidades mientras las otras están desocupadas y además el sistema resulta menos fiable porque la avería o indisponibilidad de sólo algunas unidades puede implicar la incapacidad de prestar cierto servicio. Por ello, si el servicio y la clientela son homogéneos no se deriva ventaja alguna de segmentar la demanda entre las diversas unidades de servicio; en caso contrario, conviene comparar las ventajas de disponer de unidades polivalentes con su mayor coste.

Un aspecto de la configuración de la cola es su *disciplina*, regla o conjunto de reglas que

determinan el orden en que las unidades serán atendidas. Desde luego, la disciplina más usual es la de "primer llegado, primer servido" (o FIFO, de *First In, First Out*), pero no es la única; el orden en la recepción del servicio puede estar determinado por un sistema de cita previa, por ejemplo, o puede resultar, por lo menos en parte, del azar. En ciertos servicios puede haber prioridades para ciertas unidades, bien sea por costumbre o por razones comerciales, porque exista una escala de tarifas para el servicio o porque la propia naturaleza de éste así lo exija (en un hospital una urgencia grave puede pasar por delante de otras visitas); la prioridad puede ser tan fuerte que se llegue a interrumpir el servicio que se está prestando.

Cuando hay diversas unidades de servicio homogéneas y no hay una asignación previa de clientes a las mismas, se puede formar una cola única para todo el conjunto o una cola para cada unidad. Obsérvese que esta solución es distinta de la asignación previa de clientes a unidades, puesto que aquí el cliente elige libremente la unidad, por una parte, y, por otra, puede desplazarse de una cola a la otra si así lo desea (por ejemplo, porque observa que la que ha elegido inicialmente avanza muy lentamente; desde luego, esta situación admite variantes en cuanto a la movilidad de las unidades, puesto que también puede darse el caso de que, a causa de la disposición física del sistema o de las reglas de gestión del mismo, el cliente no pueda modificar su elección inicial y hay también casos de movilidad intermedia, como el que se da en la barrera de peaje de una autopista.

La cola única suele ser la mejor solución en estos casos. En caso contrario, si no hay movilidad intercolas pueden coexistir unidades de servicio desocupadas con colas en otras. La movilidad elimina este problema, pero es un inconveniente en sí misma, por los desplazamientos de unidades que origina y porque suele ser causa de inquietud en los clientes; además, si lo que se desea es que el orden de servicio sea el mismo que el de llegada, este sistema no lo garantiza en absoluto.

La dificultad del sistema de cola única reside en cómo materializarla. De hecho, éste es un aspecto importante en cualquier sistema de colas; la cola puede concretarse físicamente en una fila, en una sala de espera con asientos o en un recinto más amplio en que las personas se desplazan libremente esperando un aviso. La decisión ha de tener en cuenta la naturaleza del servicio y el tiempo previsible de estancia en la cola de las unidades.

Si se desea una cola única materializada en una fila, ésta se puede canalizar mediante barandillas o vallas. Otra forma de conseguir una cola única, sin formar fila en este caso, es asignar un número de orden a medida que van llegando las unidades, lo que se puede hacer, en consonancia con el tipo de servicio de que se trate, por medio de aparatos sencillos de los que el propio cliente toma un boleto (muy apropiado en general para comercios) o de un empleado que tome nota de las llegadas y vaya llamando a los clientes por su nombre a medida que van quedando disponibles unidades de servicio.

Aunque las colas pueden ser prácticamente inevitables, para los usuarios suelen constituir un exponente de mala gestión. Además, la percepción del tiempo de espera no es la misma que la del tiempo de servicio; éste, en todo caso, es un tiempo perdido, inútil, improductivo y parece más largo que el tiempo de servicio, especialmente cuando el usuario no tiene información sobre lo que está ocurriendo y no observa progresos en la cola. De ahí la importancia de una disposición adecuada de los espacios en que se produce la espera que, idealmente, debe ser aprovechada para dar información al usuario, prestarle algún servicio complementario o preparar el servicio basándose en que está esperando y reducir así el tiempo de prestación propiamente dicho; en particular, hay que prever elementos de información, preferentemente visuales (avisos, indicadores del número de orden a que le corresponde ser atendido, etc.).

En conjunto, estas observaciones y comentarios pueden contribuir al planteamiento racional de distribuciones en un sector, como el terciario, que ocupa ya a la mayor parte de la población activa y que, pese a ello, sigue siendo objeto a veces de una gestión artesanal.

6.2 Bibliografía

- [1] FITZSIMMONS, J. A; SULLIVAN, R. S. *Service Operations Management*. McGraw-Hill, 1982.
- [2] FRANCIS, R. L; WHITE, J. A. *Facility Layout and Location. An Analytical Approach*. Prentice-Hall, 1974. ,
- [3] HALES, H. L. *Computer-aided Facilities Planning*. Marcel Dekker, 1984.
- [4] HALES, H. L. ed. *Computerized Facilities Planning. Selected Readings*. Industrial Engineering and Management Press, 1985.
- [5] LEWIS, B. T; MARRON, J. P. *Facilities and Plant Engineering Handbook*. McGraw-Hill, 1973.
- [6] MAYNARD, H. B. *Manual de ingeniería y organización industrial*. Reverté, 1985.
- [7] MUTHER, R. *Planificación y proyección de la empresa industrial (método SLP)*. Editores Técnicos Asociados, 1968.
- [8] MUTHER, R. *Distribución en planta*. Hispano Europea, 1981.
- [9] O.I.T.- *Introducción al estudio del trabajo*. O.I.T., 1983.

- [10] SALVENDY, G. ed. *Industrial Engineering Handbook*. J. Wiley & Sons, 1982.
- [11] TOMPKINS, J. A; MOORE, J. M. *Computer Aided Layout: A User's Guide*. American Institute of Industrial Engineers, 1980.
- [12] VALLHONRAT, J.M; COROMINAS, A. *Localización, distribución en planta y manutención*. Marcombo, 1991.

Comentarios

Los textos más específicos sobre distribución en planta son [7] y [8], que incluyen, respectivamente, una descripción detallada del SLP y consideraciones más generales y cualitativas sobre el tema. En [12], [6] y [10] se trata asimismo específicamente el problema, con mayor brevedad ([6] y [10] son dos manuales que incluyen capítulos relativos a la distribución en planta; el enfoque de ambas obras es parecido, pero [6] es más antiguo). Sobre la utilización de ordenadores en la distribución en planta: [3], [4] y [11]. [2] es un texto que se puede denominar clásico sobre localización y distribución en planta, con un enfoque eminentemente cuantitativo. [5] se refiere sobre todo a los problemas de ingeniería de planta. [1] incluye consideraciones interesantes sobre la distribución en planta en las actividades terciarias. [9] contiene diagramas para la descripción de procesos.

6.3 Problemas resueltos

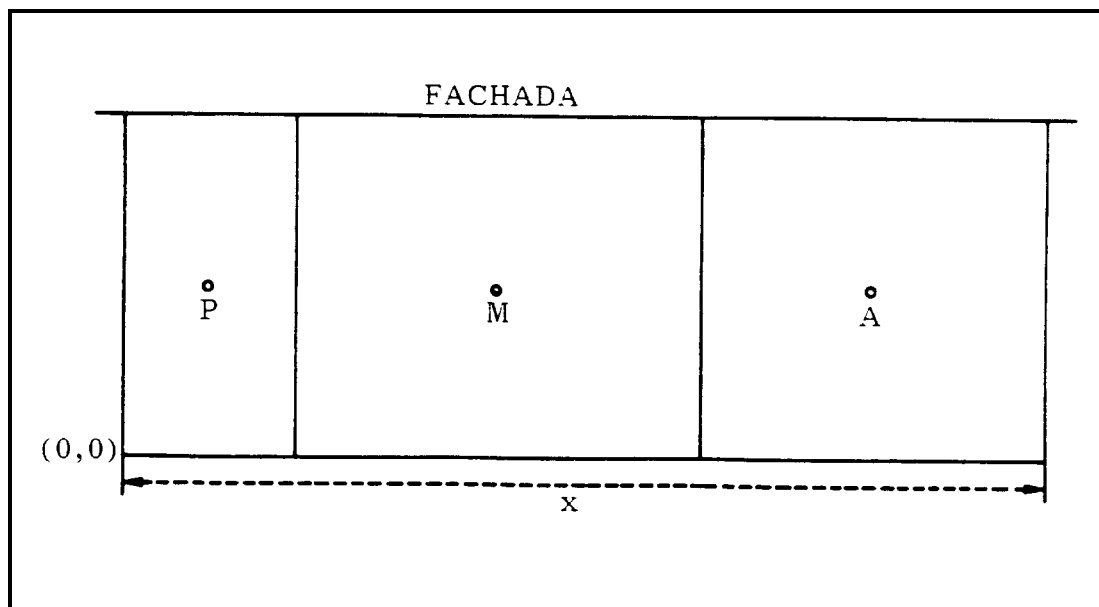
6.3.1 Se ha proyectado un taller que consta de tres secciones (P: almacén de materias primas, M: montaje, A: productos acabados), cuyas necesidades de espacio son, respectivamente, 300, 700 y 600 m².

Los flujos diarios de material son 100 unidades del exterior a P, 100 de P a M, 80 de M a A, 20 de M al exterior y 80 de A al exterior.

Considerando que las distancias son rectangulares e iguales a las que existen entre los centros geométricos de las secciones o entre estos centros y el punto más próximo de la fachada del edificio, se trata de establecer una distribución en planta rectangular con el criterio de minimizar el recorrido del material en el interior del taller.

Normalmente no resulta factible construir un modelo matemático sencillo para optimizar una distribución en planta. Este problema es, en este sentido una excepción, por ser muy reducido el número de secciones y por otras condiciones impuestas en el enunciado.

Puesto que la planta es rectangular y la superficie total es conocida basta con una variable, x , para definir la planta del edificio. Por otra parte sólo unos pocos esquemas de distribución parecen razonables.



En este esquema las coordenadas de P, M, A son, respectivamente:

$$\left(\frac{150}{1600}x, \frac{800}{x}\right), \left(\frac{650}{1600}x, \frac{800}{x}\right), \left(\frac{1300}{1600}x, \frac{800}{x}\right)$$

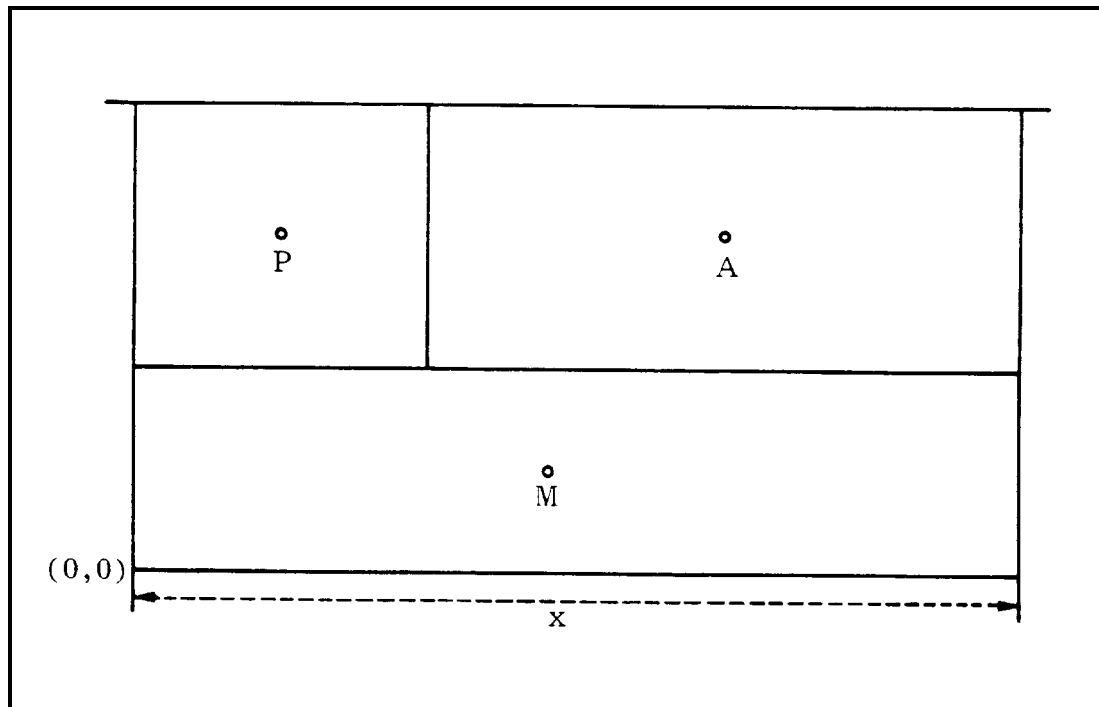
La función a optimizar es por consiguiente:

$$z = 100 \cdot \frac{800}{x} + 100 \cdot \frac{500}{1600} \cdot x + 20 \cdot \frac{800}{x} + 80 \cdot \frac{650}{1600} \cdot x + 80 \cdot \frac{800}{x} = 63'75 \cdot x + \frac{160000}{x}$$

$$\frac{dz}{dx} = 63'75 - \frac{160000}{x^2} = 0 ; \quad x^* = 50'1 \text{ m}$$

$$z^* = 6387'5$$

Otro esquema:

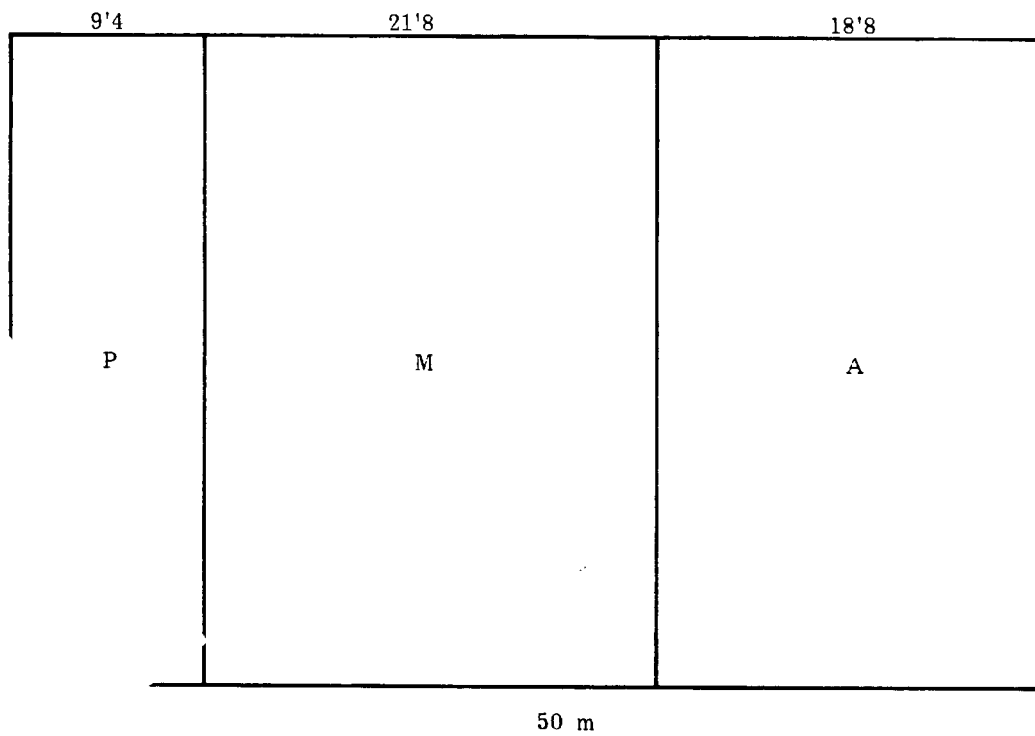


$$P \left(\frac{x}{6}, \frac{1150}{x}\right), \quad M \left(\frac{x}{2}, \frac{350}{x}\right), \quad A \left(2 \cdot \frac{x}{3}, \frac{1150}{x}\right)$$

$$z = 100 \cdot \frac{450}{x} + 100 \cdot \left(\frac{1}{3} \cdot x + \frac{800}{x} \right) + 20 \cdot \frac{1250}{x} + 80 \cdot \left(\frac{1}{6} \cdot x + \frac{800}{x} \right) + 80 \cdot \frac{450}{x} = \frac{140}{3} \cdot x + \frac{250000}{x}$$

$x^* = 732$, $z^* = 6831$ (peor que la solución hallada anteriormente).

Por lo tanto, la distribución en planta que se adoptaría sería, aproximadamente:



6.4 Enunciados

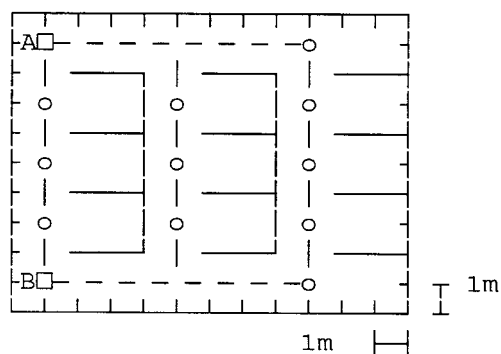
6.4.1 La Sección de Logística del Comité Organizador Lavinia 92 ha previsto unas unidades de distribución de chándals de entrenamiento no recuperables para los deportistas de la Villa Olímpica.

Los chándals son de 6 modelos, que resultan de combinar 3 tallas (S,M,L) con 2 colores (g, r).

Se ha estimado que las peticiones diarias serán las siguientes:

Sg	200
Sr	150
Mg	600
Mr	450
Lg	210
Lr	300

Estos chándals serán colocados, cada día, en los estantes de la unidad de distribución, de los cuales hay 22 (11 en cada uno de los 2 niveles, a 2 m el uno del otro). Cada estante tiene capacidad para 150 ejemplares S o 100 M o 75 L y en cada uno sólo habrá chándals de uno de los modelos. Se incluye a continuación un croquis de la planta de la unidad.



Los atletas, previa identificación, pasarán por una puerta de acceso, donde especificarán el color que desean (la talla se encontrará en la base de datos anexa al sistema) y serán dirigidos, alternativamente, a las ventanillas situadas en los puntos A y B, donde el

artefacto robótico R2D2 (de la casa LUCAS ASIMOF) les entregará el chándal correspondiente. R2D2 se desplazará siguiendo las líneas discontinuas y se puede parar en los puntos marcados con un pequeño círculo desde donde cogerá el material y lo llevará a la ventanilla correspondiente, donde se parará, a la espera de que se recoja el pedido y de recibir una nueva orden; su velocidad de régimen es de 2 m/s y el tiempo que necesitará para hacer un recorrido se puede calcular considerando esta velocidad como media y añadiendo 1 s por cada vez que deba acelerar o parar y teniendo en cuenta que antes de cada cambio de dirección se debe parar y que cuando el chándal se encuentra en un estante del nivel superior hace falta añadir 4 s para el movimiento de subir y bajar el brazo mecánico de R2D2.

¿Como se deben colocar estos chándals en los estantes para que el tiempo medio de servicio sea mínimo y, cuál será entonces este tiempo medio?

6.4.2 Una empresa fabrica 10 productos distintos, con la intervención de seis departamentos:

Producto	Secuencia de proceso	Producción mensual
1	A B C D E F	800
2	A B C B E D C F	1000
3	A B E F	600
4	A B C E B C F	2000
5	A C E F	1500
6	A B C D E F	400
7	A B D E C B F	2000
8	A B C B D B E B	2500
9	A B C D F	800
10	A B D E F	1000

Departamento	Superficie (m ²)
A	300
B	360
C	240
D	450
E	750
F	450

- a) Establecer la tabla matricial de movimiento mensual entre Departamentos.
- b) Diseñar un layout mediante el SLP
- c) Calcular la distancia total recorrida por mes suponiendo que el movimiento de materiales entre departamentos tiene lugar en lotes correspondientes a 100 unidades de producto.

6.4.3 Simulación de reglas para la gestión de un almacén

Si se supone un almacén con unas celdas o parcelas con posiciones determinadas y con unos muelles de carga o descarga asimismo en posiciones conocidas y si son también conocidos los movimientos, pesos, etc., no es difícil determinar una asignación óptima de los diversos artículos en las parcelas.

La solución clásica es que cada tipo de artículo tenga asignadas unas parcelas fijas. De esta manera, la localización de un artículo es inmediata. Esto tiene, no obstante, al menos dos inconvenientes. El primero es que, a causa de variaciones aleatorias en la demanda puede ser que no haya espacio suficiente para uno de los artículos mientras que, en cambio, haya parcelas vacías correspondientes a otros; de hecho, si el aprovisionamiento se hace por lotes habrá casi siempre una proporción elevada de parcelas vacías. El segundo es que las variaciones que pueda haber en la demanda no se reflejan en la asignación si no es a través de una reorganización general, costosa y, por tanto, poco practicable.

Una solución alternativa es asignar los artículos dinámicamente a parcelas vacías. De esta forma es muy difícil localizar un artículo "manualmente", pero si se tiene una imagen informática del almacén no hay ningún problema para saber dónde se puede encontrar cada cosa.

A partir de estas ideas se trata de comparar un sistema de asignación fija de parcela con uno de asignación dinámica, en función de la dispersión de las demandas y en el supuesto de que la gestión de la remesa se haga por punto de pedido con un plazo de entrega propio de cada artículo.

Las comparaciones se harían concretamente sobre los siguientes aspectos:

- a) Caso estático (las demandas medias se mantienen a lo largo del tiempo): Necesidades de espacio y coste de manipulación.
- b) Caso dinámico: Comportamiento en relación a cambios de la media. Con los dos sub-casos siguientes (ambos con dos productos únicamente):
 - b₁) Cambio permanente en la proporción de los dos artículos en el total.
 - b₂) Artículos con estacionalidad complementaria (suma de demanda constante pero con proporciones variables en un ciclo anual).