

PROCEDIMIENTOS DE DISTRIBUCIÓN (LAYOUT)



Introducción

2

- ¿Qué viene primero, el sistema de manejo de materiales o el layout?
- Las siguientes decisiones de manejo de materiales afectarán el layout:
 - ▣ Almacenamiento centralizado o descentralizado de WIP, herramientas y suplementos
 - ▣ Manejo con rutas fijas o variables
 - ▣ El manejo unitario planeado por el sistema o sistemas
 - ▣ El grado de automatización usado en el manejo
 - ▣ El tipo de nivel de control de inventario, control físico, y control computacional de materiales

Introducción

3

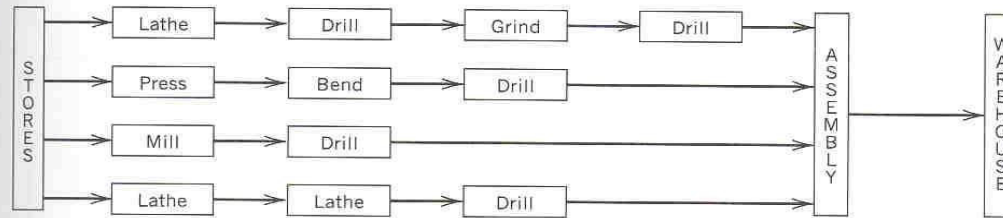
- Entonces, ¿qué es primero: el layout o el manejo de materiales?

Tipos Básicos de Layout

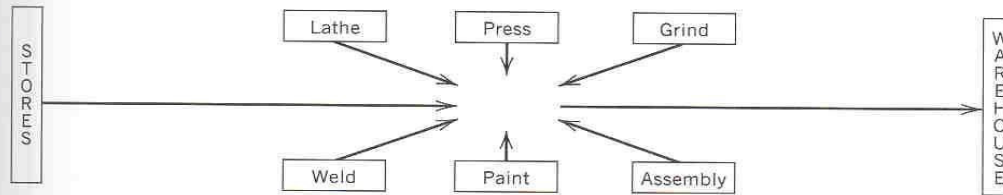
4

Por departamento :

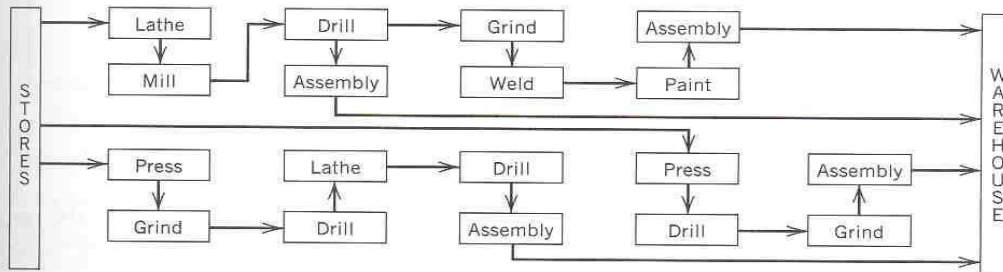
- Línea de Producción
- Materiales Fijos
- Familia de Productos
- Proceso



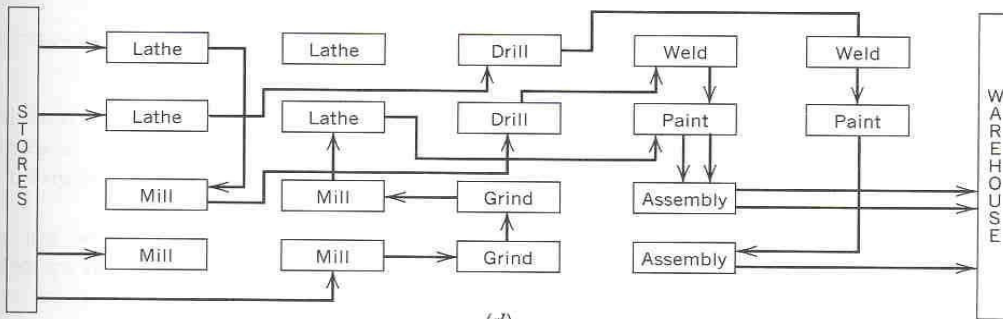
(a)



(b)



(c)



(d)

Figure 3.18 Material flow systems for various types of departments. (a) Product planning departments. (b) Fixed materials location planning departments. (c) Product family planning departments. (d) Process planning departments.

Table 6.1 *Advantages and Limitations of Fixed Product Layout, Product Layout, Group Layout, and Process Layout*

Fixed Product Layout	
Advantages	Limitations
<ol style="list-style-type: none"> 1. Material movement is reduced. 2. When a team approach is used, continuity of operations and responsibility results. 3. Provides job enrichment opportunities. 4. Promotes pride and quality because an individual can complete the "whole job." 5. Highly flexible; can accommodate changes in product design, product mix, and production volume. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Personal and equipment movement is increased. 2. May result in duplicate equipment. 3. Requires greater skill for personnel. 4. Requires general supervision. 5. May result in increased space and greater work-in-process. 6. Requires close control and coordination in scheduling production.
Product Layout	
Advantages	Limitations
<ol style="list-style-type: none"> 1. Smooth, simple, logical, and direct flow lines result. 2. Small work-in-process inventories should result. 3. Total production time per unit is short. 4. Material handling requirements are reduced. 5. Less skill is required for personnel. 6. Simple production control is possible. 7. Special-purpose equipment can be used. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Machine stoppage stops the line. 2. Product design changes cause the layout to become obsolete. 3. Slowest station paces the line. 4. General supervision is required. 5. Higher equipment investment usually results.
Group Layout	
Advantages	Limitations
<ol style="list-style-type: none"> 1. By grouping products, higher machine utilization can result. 2. Smoother flow lines and shorter travel distances are expected than for process layouts. 3. Team atmosphere and job enlargement benefits often result. 4. Has some of the benefits of product layouts and process layouts; it is a compromise between the two. 5. Encourages consideration of general-purpose equipment. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. General supervision required. 2. Greater labor skills required for team members to be skilled on all operations. 3. Critically dependent on production control balancing the flows through the individual cells. 4. If flow is not balanced in each cell, buffers and work-in-process storage are required in the cell to eliminate the need for added material handling to and from the cell. 5. Has some of the disadvantages of product layouts and process layouts; it is a compromise between the two. 6. Decreases the opportunity to use special-purpose equipment.

Table 6.1 (continued)

Process Layout	
Advantages	Limitations
1. Increased machine utilization.	1. Increased material handling requirements.
2. General-purpose equipment can be used.	2. More complicated production control required.
3. Highly flexible in allocating personnel and equipment.	3. Increased work-in-process.
4. Diversity of tasks for personnel.	4. Longer production lines.
5. Specialized supervision is possible.	5. Higher skills required to accommodate diversity of tasks required.

Procedimientos para el Diseño de Layouts

8

- Existen dos tipos fundamentalmente:
 - Constructivos
 - De mejora

Tres procedimientos secuenciales

9

- Apple; 20 pasos
- Reed; 10 pasos
- Muther; SLP : Systematic Layout Planning. Este procedimiento puede usarse secuencialmente para desarrollar primero un layout por bloques y luego un layout detallado de cada departamento

Apple's Plant Layout Procedure

Apple [1] proposed the following detailed sequence of steps in producing a plant layout.

1. Procure the basic data.
2. Analyze the basic data.
3. Design the productive process.
4. Plan the material flow pattern.
5. Consider the general material handling plan.
6. Calculate equipment requirements.
7. Plan individual workstations.
8. Select specific material handling equipment.

9. Coordinate groups of related operations.
10. Design activity interrelationships.
11. Determine storage requirements.
12. Plan service and auxiliary activities.
13. Determine space requirements.
14. Allocate activities to total space.
15. Consider building types.
16. Construct master layout.
17. Evaluate, adjust, and check the layout with the appropriate persons.
18. Obtain approvals.
19. Install the layout.
20. Follow up on implementation of the layout.

Reed's Plant Layout Procedure

Reed [51] recommended the following “systematic plan of attack” as required steps in “planning for and preparing the layout.”

1. Analyze the product or products to be produced.
2. Determine the process required to manufacture the product.
3. Prepare layout planning charts.
4. Determine workstations.
5. Analyze storage area requirements.
6. Establish minimum aisle widths.
7. Establish office requirements.
8. Consider personnel facilities and services.
9. Survey plant services.
10. Provide for future expansion.

Reed calls the layout planning chart “the most important single phase of the entire layout process” [51, p. 10]. It incorporates the following:

1. Flow process, including operations, transportation, storage, and inspections.
2. Standard times for each operation.
3. Machine selection and balance.
4. Manpower selection and balance.
5. Material handling requirements.

An example of a layout planning chart is given in Figure 6.2.

Muther's Systematic Layout Planning (SLP) Procedure

Muther [47] developed a layout procedure he named systematic layout planning or SLP. The framework for SLP is given in Figure 6.3. It uses as its foundation the activity relationship chart described in Chapter 3 and illustrated in Figure 6.4.

Based on the input data and an understanding of the roles and relationships between activities, a material flow analysis (from-to chart) and an activity relationship analysis (activity relationship chart) are performed. From the analyses performed, a relationship diagram is developed (Figure 6.5).

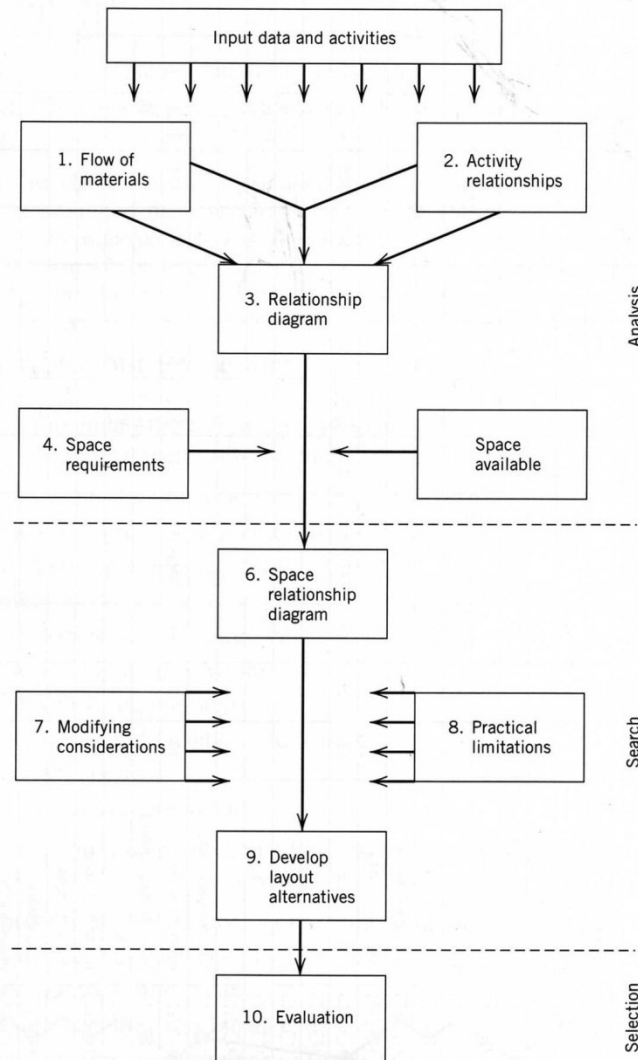


Figure 6.3 Systematic layout planning (SLP) procedure.

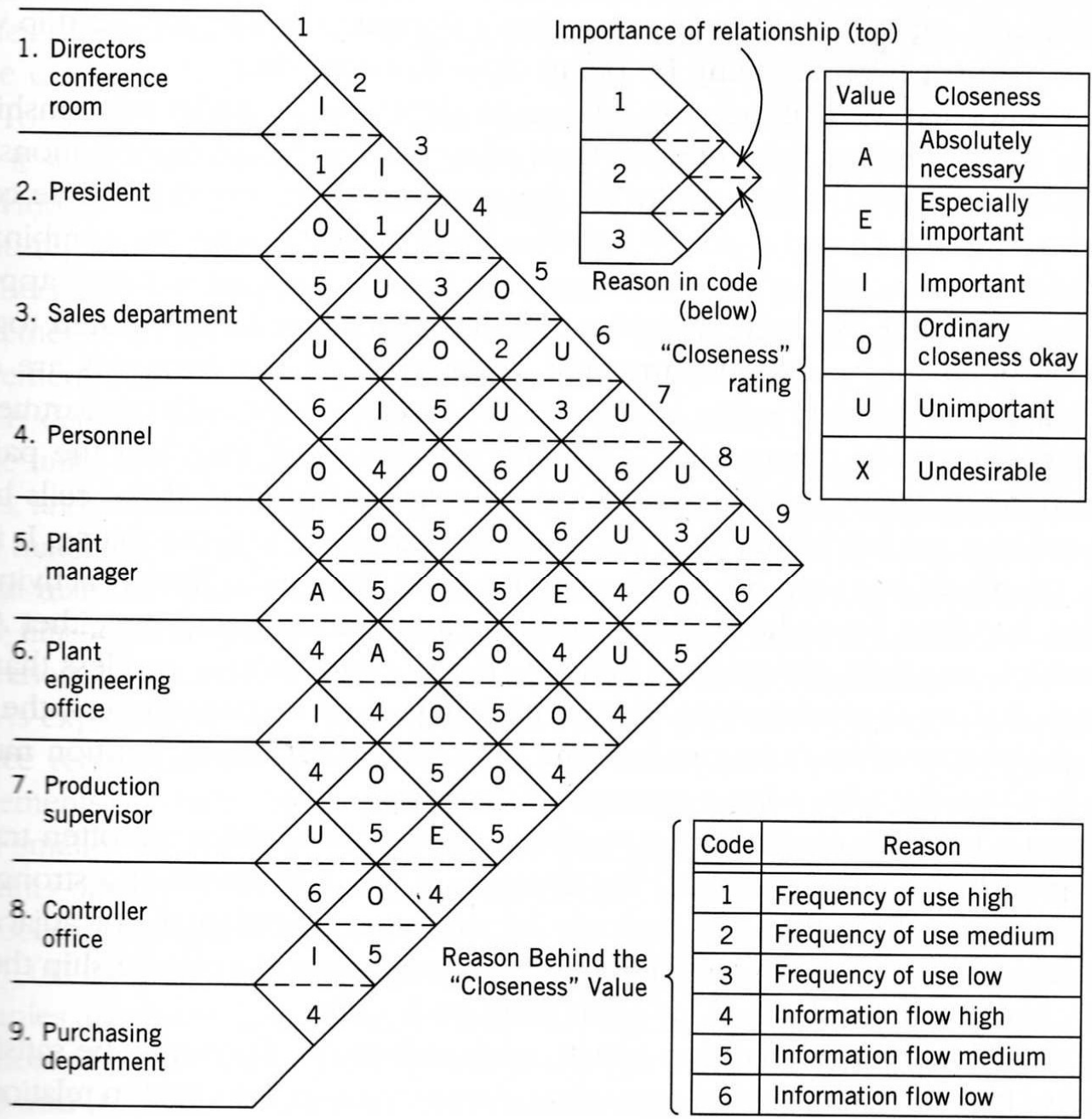


Figure 3.34 Relationship chart.

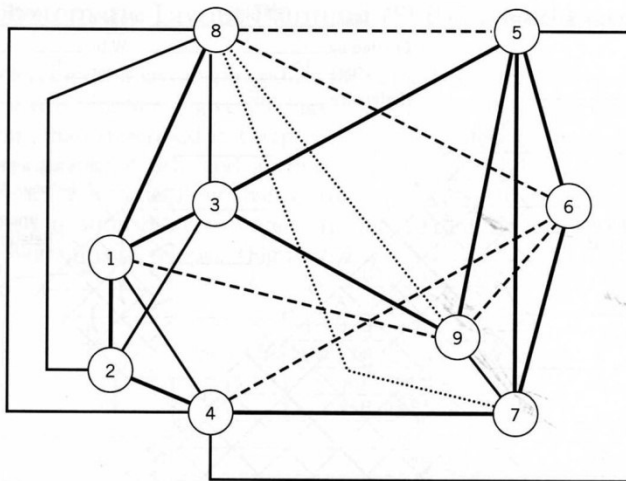


Figure 6.5 Relationship diagram.

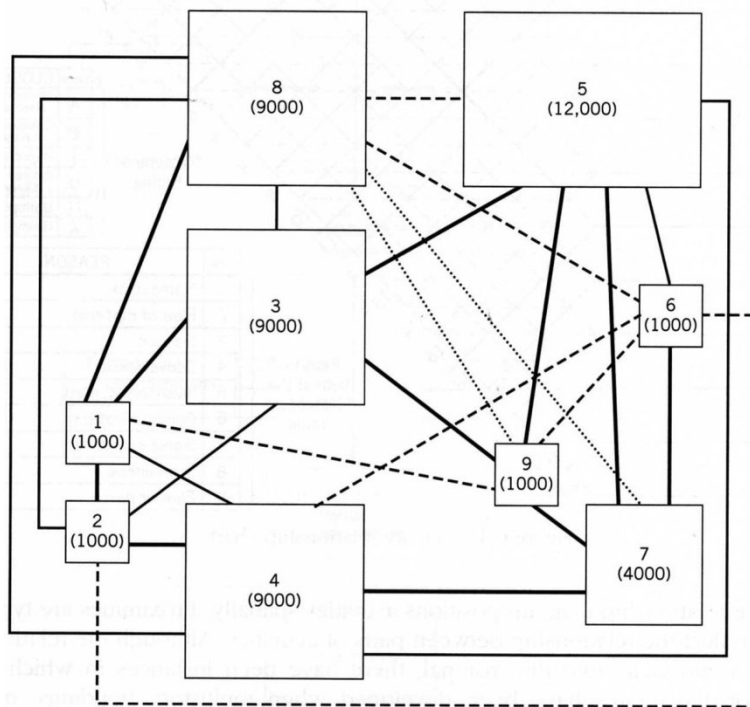


Figure 6.6 Space relationship diagram.

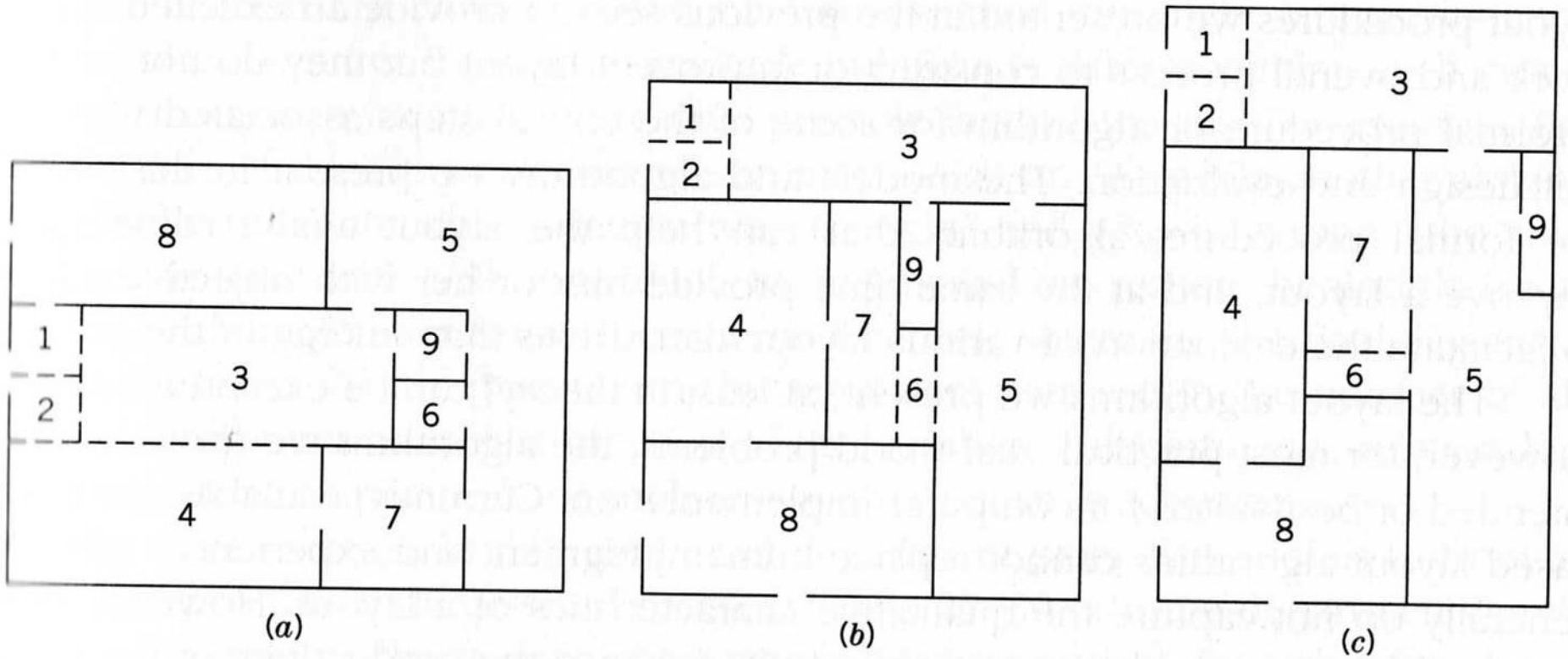


Figure 6.7 Alternative block layouts.

Otro ejemplo

17

Tabla 12.12
Claves de prioridad en
tablas de relaciones

<i>Clave</i>	<i>Prioridad</i>	<i>Valor</i>
A	Absolutamente necesario	4
E	Especialmente importante	3
I	Importante	2
O	Ordinario	1
U	No importante	0
X	Indeseable	-1

Figura 12.4 Representación nodal

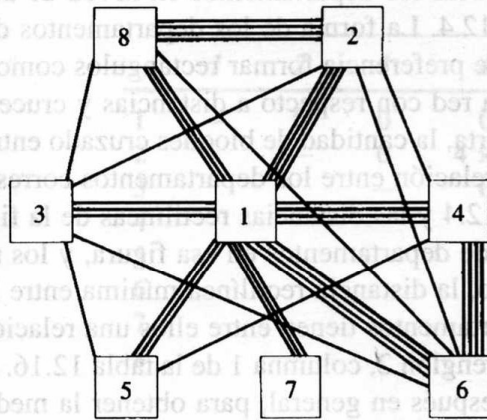
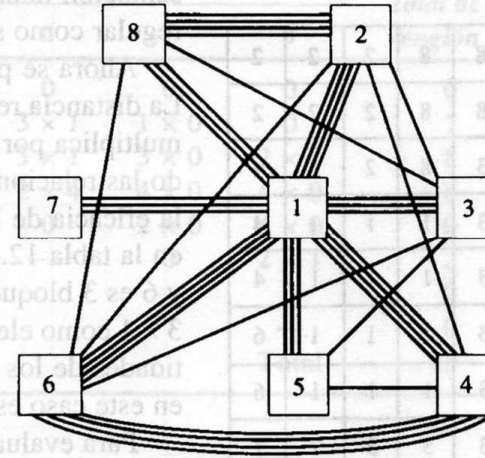


Figura 12.15 Representación nodal con un posible problema de emplazamiento



8 tiene una relación de 4 con el departamento 2, pero también tiene una relación de 3 con el departamento 1 y, en consecuencia, debe estar adyacente tanto al departamento 1 como al departamento 2. Después de haber puesto todos esos departamentos con relación de 4, regresamos al departamento con el total mayor y comenzamos colocando las relaciones de 3. Después de agotar todas las relaciones de 3, normalmente se hacen ajustes con las relaciones de 2 y de 1, pero en este caso ya quedaron colocados todos los departamentos. El resultado es la figura 12.4.

Un buen diagrama de nodos tiene un mínimo de líneas que cruzan a una cantidad mínima de departamentos. De acuerdo a cómo se coloquen las líneas y según la cantidad de departamentos que intervienen en la distribución, este paso puede llegar a ser tedioso y difícil de evaluar. Por ejemplo, veamos la representación nodal de la figura 12.5. Los departamentos 4 y 6 tienen relaciones de 4 entre sí. Esta representación nodal muestra las cuatro líneas que no cruzan departamentos, pero cuando esos departamentos se incluyen en realidad, el departamento 5 podría estar directamente entre los departamentos 4 y 6.

Para evaluar las distribuciones potenciales es muy útil una formulación en red, como se explicó en el paso 4. Se comienza reduciendo el área de cada departamento a una cantidad aproximada de bloques. Para nuestro ejemplo usaremos la escala de un bloque igual a 37.16 metros cuadrados (400 pies cuadrados), es decir 6.096 metros (20 pies) \times 6.096 metros (20 pies). Por ejemplo, el cuarto de herramientas tiene 106.84 metros cuadrados (1150 pies cuadrados), aproximadamente tres bloques. La cantidad de bloques necesarios en cada área se ve en la tabla 12.5.

Tabla 12.15

Cálculos de bloques

<i>Departamento</i>	<i>Área</i>	<i>Bloques</i>	<i>Departamento</i>	<i>Área</i>	<i>Bloques</i>
1	4800	12	5	750	2
2	3050	8	6	1000	2
3	2400	6	7	600	2
4	1150	3	8	1900	5
			Total		40

Figura 12.6

Representación en red o cuadrícula

8	8	2	2	2
8	8	2	2	2
3	8	2	2	4
3	1	1	1	4
3	1	1	1	4
3	1	1	1	6
3	1	1	1	6
3	5	5	7	7

Como el total de bloques necesarios es 40, limitaremos las dimensiones de la red a 5×8 bloques. Se pueden colocar los departamentos en la red de acuerdo con la representación nodal de la figura 12.4. La forma de los departamentos debe permanecer regular como sea posible, y de preferencia formar rectángulos como en la figura 12.6.

Ahora se puede evaluar la red con respecto a distancias y cruces de departamentos. La distancia rectilínea más corta, la cantidad de bloques cruzado entre departamentos, se multiplica por el valor de la relación entre los departamentos correspondientes. Tomando las relaciones de la tabla 12.4 y las distancias rectilíneas de la figura 12.6, se evalúa la eficacia de la distribución de departamentos en esa figura, y los resultados se muestran en la tabla 12.16. Por ejemplo, la distancia rectilínea mínima entre los departamentos 1 y 6 es 3 bloques, y esos departamentos tienen entre ellos una relación de uno, lo que da 3×1 como elemento para el renglón 2, columna 1 de la tabla 12.16. Se totalizan las cantidades de los renglones, y después en general, para obtener la medida de eficacia, que en este caso es 16.

Para evaluar la representación nodal alternativa de la figura 12.5 aplicaremos el procedimiento que seguimos en la figura 12.4, y compararemos las medidas de eficacia para los dos diagramas nodales. La figura 12.7 es la traducción de la figura 12.5 a una representación de red (en cuadrícula) de la distribución.

Incluso cuando parece que el arreglo nodal de la figura 12.5 tiene menos líneas que cruzan menos departamentos, no es el caso en la distribución real. Esta observación resulta de comparar las medidas de eficacia de las tablas 12.17 y 12.16: 25 contra 16.

Se pueden hacer pequeños cambios en la red sin afectar realmente la distribución final. Vemos, en la figura 12.8, que se han corrido todos los departamentos un bloque en sentido de las manecillas del reloj, en torno al departamento 1. No ha cambiado el total correspondiente, en la tabla 12.18. En esencia, las distribuciones establecidas en las figuras 12.3 y 12.7 serían igualmente eficaces.

Figura 12.7

Representación en red de la figura 12.5

8	8	2	2	2
8	8	2	2	2
7	8	2	2	3
7	1	1	1	3
6	1	1	1	3
6	1	1	1	3
5	1	1	1	3
5	4	4	4	3

Tabla 12.16 Cálculo de la eficacia para la figura 12.4

	<i>Departamento</i>								<i>Total región</i>
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	
<i>1</i>	—	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>2</i>		—	1 × 1	0	4 × 0	3 × 1	4 × 0	0	0
<i>3</i>			—	3 × 0	0	3 × 1	2 × 0	0	0
<i>4</i>				—	4 × 1	0	2 × 0	2 × 0	2 × 0
<i>5</i>					—	2 × 0	0	4 × 0	4 × 0
<i>6</i>						—	2 × 0	5 × 1	5 × 1
<i>7</i>							—	6 × 0	6 × 0
<i>8</i>								—	—
									Total

Ejercicio

23

- Calcule la eficacia de la figura 12.7 (relacionada a la 12.5)

Figura 12.8

Representación en red
verificada

8	2	2	2
8	2	2	2
8	8	2	2
1	1	1	4
1	1	1	4
1	1	1	4
1	1	1	6
5	7	7	6

Tabla 12.18 Cálculo de la eficacia para la figura 12.8

	Departamento								Total de renglón
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1	—	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1 × 1	—	1 × 1	0	6 × 0	3 × 1	4 × 0	0	4
3	1 × 1	—	—	3 × 0	0	3 × 1	2 × 0	0	3
4	0	1 × 1	—	—	4 × 1	0	2 × 0	2 × 0	4
5	0 × 2	—	—	—	—	2 × 0	0	4 × 0	0
6	—	—	—	—	—	—	0	5 × 1	5
7	—	—	—	—	—	—	—	4 × 0	0
8	—	—	—	—	—	—	—	—	0
								Total	16

PROBLEMS

- 6.1 What are some of the important factors that should be taken into consideration when a layout is being designed?
- 6.2 What kind of impacts do the material handling decisions have on the effectiveness of a facility layout in a manufacturing environment?
- 6.3 What kind of manufacturing environments are the following types of layout designs best suited for?
- a. Fixed Product Layout
 - b. Product Layout
 - c. Group Layout
 - d. Process Layout
- 6.4 Compare the primary layout design objectives for the following situations:
- a. Soda bottler
 - b. Printing shop
 - c. Meat-processing plant
 - d. Furniture manufacturing plant
 - e. Computer chip maker
 - f. Shipyard
 - g. Refinery plant
 - h. College campus
- 6.5 What are the basic differences between construction type and improvement type layout algorithms?
- 6.6 Contrast and compare the plant layout procedures proposed by Apple, Reed, and Muther.
- 6.7 Four departments are to be located in a building of 600 ft × 1000 ft. The expected personnel traffic flows and area requirement for departments are shown in the tables below. Develop a block layout using SLP.

Dept.	A	B	C	D
A	0	250	25	240
B	125	0	400	335
C	100	0	0	225
D	125	285	175	0

Department:	Department Dimension:
A	200 ft. × 200 ft.
B	400 ft. × 400 ft.
C	600 ft. × 600 ft.
D	200 ft. × 200 ft.

- 6.8 XYZ Inc. has a facility with six departments (A, B, C, D, E, and F). A summary of the processing sequence for ten products and the weekly production forecasts for the products are given in the tables below.
- a. Develop the from-to chart based on the expected weekly production.
 - b. Develop a block layout using SLP.

Product	Processing Sequence	Weekly Production
1	A B C D E F	960
2	A B C B E D C F	1,200
3	A B C D E F	720
4	A B C E B C F	2,400
5	A C E F	1,800
6	A B C D E F	480
7	A B D E C B F	2,400
8	A B D E C B F	3,000
9	A B C D F	960
10	A B D E F	1,200

Dept.	Dimension (ft. × ft.)
A	40 × 40
B	45 × 45
C	30 × 30
D	50 × 50
E	60 × 60
F	50 × 50

49 A toy manufacturing company makes ten different types of products. There are fifteen equal sized departments involved. Given the following product routings and production forecasts,

- Construct a from-to chart for the facility.
- Develop a block layout using SLP.

Product	Processing Sequence	Weekly Production
1	A B C D B E F C D H	500
2	M G N O N O	350
3	H L H K	150
4	C F E D H	200
5	N O N	100
6	I J H K L	150
7	G N O	200
8	A C F B E D H D	440
9	G M N	280
10	I H J	250

Procedimientos Algorítmicos

27

- Se discutirán tres métodos:
 1. Diagramando las relaciones
 2. Método de Intercambio dos a dos
 3. Método Constructivo basado en gráficas

Diagramando las Relaciones para nuevos Layouts

28

- Paso 1. Seleccionar el primer dpto. que debe entrar al layout
- Paso 2. Seleccionar el segundo dpto. que debe entrar al layout
- Paso 3. Seleccionar el tercer dpto. que debe entrar al layout
- Paso 4. Seleccionar el cuarto dpto. que debe entrar al layout
- Paso n.

Ejemplo:

29

Código	Función	Área (p²)	Número de Unidades
1	<i>Receiving</i>	12 000	6
2	<i>Milling</i>	8 000	4
3	<i>Press</i>	6 000	3
4	<i>Screw Machine</i>	12 000	6
5	<i>Assembly</i>	8 000	4
6	<i>Plating</i>	12 000	6
7	<i>Shipping</i>	12 000	6

Método de Intercambio Dos a Dos para Mejoramiento de un Layout

30

- La mayoría de los problemas de layout envuelve el rediseño de una planta ya existente, debido a la adición de nuevas máquinas, cambios en la mezcla de productos, contracción o aumento de las áreas de almacenamiento, etc.

Método de Intercambio Dos a Dos para Mejoramiento de un Layout

31

- Este método es un heurístico basado en la minimización del costo total del transporte de materiales entre todos los departamentos de una planta.
- Se asume que la distancia entre departamentos es rectilínea y medida desde el centroide

Ejemplo

- Considere 4 departamentos de igual tamaño
- El flujo de materiales es como sigue

	1	2	3	4
1	-	10	15	20
2		-	10	5
3			-	5
4				-

Ejemplo

33

- Layout actual



Ejemplo

Matriz de Distancias

34

	1	2	3	4
1	—	1	2	3
2		-	1	2
3			-	1
4				-

Cálculo del Costo

35

- Costo del layout actual :

$$TC_{1234} = 125$$

- Como en este caso las áreas son idénticas, podemos calcular TC_{2134} , TC_{3214} , TC_{4231} , TC_{1324} , TC_{1432} , TC_{1243}

Método de Intercambio...Ejemplo

Layout después de una iteración

36

- Intercambiando 1 y 3 :

3	2	1	4
----------	----------	----------	----------

Método de Intercambio...Ejemplo

Layout después de la 2da iteración

37

2	3	1	4
----------	----------	----------	----------

Método de Intercambio...Ejemplo

Regla para terminar el heurístico

38

- En la tercera iteración el costo menor es peor que en la iteración anterior, por lo que se termina el procedimiento

Método de Intercambio... Observaciones

39

- ❑ Este método no conduce al óptimo necesariamente
- ❑ Es fácil cuando todos los deptos. tienen el mismo tamaño
- ❑ Existe la posibilidad de que el procedimiento se cicle.

Método Constructivo Basado en Gráficas para Nuevos Layouts

40

- El uso de métodos de teoría de grafos tiene grandes similitudes con el SLP
- Grafo de adyacencias. Cada nodo representa un depto. y un arco entre dos deptos. significa que comparten una frontera/pared
- Ver archivo Word con ejemplo.

El Impacto del Cambio

41

- La necesidad de un estudio de layout puede surgir por alguna de las siguientes razones:
 - Cambios en el diseño de productos existentes, eliminación de productos, e introducción de nuevos productos
 - Cambios en las secuencias de procesamiento, reemplazo de

El Impacto del Cambio

42

equipo de procesamiento existente y cambios en el uso de equipo ya sea de uso general o de uso especializado

- Cambios en las cantidades de producción y planes de producción asociados, que resultan en cambios en la capacidad
- Cambios en la estructura organizacional o filosofía de administración

Generando Alternativas de Layout

43

- Arte y ciencia
- Satisfacer, no Optimizar

ALGORITMOS DE LAYOUT COMPUTARIZADOS



Introducción

45

- Algoritmos computarizados de layout no pueden reemplazar el juicio humano, pero pueden ayudar a incrementar la productividad del planeador
- Muy útiles para probar diferentes escenarios

Layout con Computadora

Clasificación de Algoritmos

46

- ▣ De acuerdo a las entradas
- ▣ De acuerdo a la función objetivo :
 - Minimizar la suma de los flujos por la distancia (*From-to-Chart*) (QAP-basado en distancia)
 - Maximizar la suma de calificaciones de departamentos adyacentes (Gráfica de relaciones)

Técnicas de Modelaje y Algoritmos Computarizados

- CRAFT: Uno de los primeros métodos, utiliza una matriz “de-hacia” para el flujo. El costo es medido en distancia.
- Los departamentos no son restringidos a espacios rectangulares.

- BLOCPLAN: Departamentos son organizados en bandas. Usa una matriz de relaciones, así como la matriz “de-hacia” para el flujo.
- El costo es medido por distancia o también por cercanía de departamentos.
- Puede usar un algoritmo de construcción y también de mejora, y no es posible capturar el primer layout sin mejoras a hacer.

- PEM: Programación Entera Mixta. Puede ser usado asumiendo que todos los departamentos son rectangulares.
- LOGIC: Layout Optimization with Guillotine Induced Cuts. Usa la matriz "de-hacia" para información sobre flujo. El costo es medido por medio de la distancia. Los departamentos generados son rectangulares si el edificio es rectangular. Usado como algoritmo de mejora y de construcción.

- MULTIPLE: *MULTI-floor Plant Layout Evaluation*. Fue diseñado para plantas con varios pisos pero también se puede usar para uno solo. El procedimiento es muy similar al de CRAFT. Los departamentos no son restringidos a espacios rectangulares y es un algoritmo de mejora. Puede cambiar cualquiera 2 departamentos, estando juntos o no. Departamentos fijos pueden ser movidos o cambiar de forma.

Programas Computacionales Comerciales

51

Entre ellos están:

- FactoryCAD,
- FactoryPLAN,
- FactoryFLOW,
- LayOPT (para MULTIPLE) y
- FactoryModeler.

MÉTODOS ADICIONALES DE DISEÑO COMPUTARIZADO



CORELAP

53

- Este método construye el layout mediante el cálculo del *total closeness rating* (TCR) para cada departamento, donde TCR es la suma de los valores numéricos asignados a las relaciones de cercanía (A = 6, E = 5, I = 4, O = 3, U = 2, X = 1).

Método:

1. El departamento que tenga el más alto TCR se coloca en el centro del layout, si existe algún empate para el TCR más alto, se aplica la siguiente regla de desempate:

Se elige el departamento que tenga el área más grande.

2. El siguiente departamento se elige con base en la relación que tenga con el departamento central, esta relación debe ser A, si no existe se busca la relación E y así sucesivamente. Todos los departamentos siguen el mismo patrón de elección.

3. Una vez seleccionada la posición de entrada, se toma la decisión de en que lugar se colocará el departamento calculando el *placing rating*, este es la suma del peso del *closeness rating* entre el departamento que entra al layout y sus vecinos.
4. Finalmente el CORELAP evalúa el layout calculando la calificación del mismo.

ALDEP

Selección variable para definir un número de alternativas de layout.

Utilización de la tabla de relaciones para determinar la importancia de la adyacencia entre departamentos.

Proceso de Selección:

58

1. El primer departamento es seleccionado al azar
2. El segundo departamento se escogerá en base a la relación de A con el primero
3. Continuar hasta que no haya relaciones entre los departamentos

Proceso de Distribución:

59

- Especificar la longitud y la anchura del departamento.
- Especificar el barrido a lo ancho.
- Modificar el barrido a lo ancho nos permite obtener numerosos layouts.
- ADLEP convierte las informaciones sobre las áreas en un arreglo y asigna un número de plantillas a cada departamento proporcionalmente a su área

Evaluación

60

- Después de que el layout esté diseñado, ALDEP determina qué tan bueno es dando un valor numérico.
- Para calcular este valor, ALDEP asigna un peso a cada relación:

$$A = 60 \quad E = 16 \quad I = 4 \quad U = 0$$

$$X = -1024$$

Si dos departamentos son adyacentes, el peso correspondiente al *rating* entre los dos departamentos es sumado a la puntuación

Quadratic Assignment Problem (QAP)

61

Requerimientos:

- 1.El área debe ser la misma para todos los departamentos.
- 2.La matriz de flujo debe ser simétrica (flujo de i a j es el mismo que de j a i).
- 3.El número de departamentos debe ser menor a 14 (por simplicidad).

Notación:

62

- f_{ij} : Flujo entre los departamentos $i - j$.
- d_{hk} : Distancia entre lugares h y k .
- A_{ij} : Costo de mover una unidad de material una unidad de distancia entre departamentos i y j .
- C_{ihjk} : $A_{ij} f_{ij} d_{hk}$
- X_{ih} : 1 si el depto. i es asignado al sitio k ,
0 cualquier otro caso

Optimización Combinatoria:

63

$$\text{Min } z = \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n \sum_{h=1}^n \sum_{l=1}^n C_{jkh l} X_{jk} X_{hl}$$

sujeto a:

$$\sum_{j=1}^n X_{jk} = 1 \quad k=1, \dots, n$$

$$\sum_{k=1}^n X_{jk} = 1 \quad j=1, \dots, n$$

X_{jk} in $\{0,1\}$ for all j and k

Procedimiento:

64

- Calcular el límite inferior del costo de una solución óptima.
- Asignar el flujo más alto a la distancia más pequeña.
- Repetir el paso anterior si es posible.
- Si no, tomar la distancia más pequeña y así sucesivamente.

Límite Inferior para QAP:

- Primero se obtiene la matriz del costo por unidad de distancia entre departamentos V , donde $V_{ij} = A_{ij} f_{ij}$
- D es la matriz de distancias entre los sitios.
- Ordenar los elementos de la matriz V de mayor a menor y escribirlos como vector renglón.
- Ordenar los elementos de la matriz D de menor a mayor y escribirlos como vector columna.
- Obtener el límite inferior como el producto de ambos vectores.