

CAPÍTULO

3

DISTRIBUCIÓN
EN PLANTA

Objetivos del capítulo

1. Distribución en planta de las instalaciones
2. Distribución con posición fija
3. Distribución por proceso o de talleres
4. Distribución por producto (*flow-shop layout*)
 - 4.1. Producción en línea
 - 4.2. Producción continua
 - 4.3. Ventajas y desventajas de la distribución por producto
5. Distribución celular
6. Técnica de equilibrado de líneas de producción

Conceptos básicos

Actividades de autocomprobación

Ejercicios voluntarios

Referencias bibliográficas



OBJETIVOS DEL CAPÍTULO

Este capítulo se centra en la distribución en planta de las instalaciones de la organización. Se trata de analizar cuál es la mejor distribución y agrupación de los elementos de producción, para que la producción o prestación del servicio sea lo más rápida y eficiente posible. El lector deberá:

- Conocer los tipos básicos de distribución en planta.
- Saber realizar una distribución en planta por células de trabajo.
- Profundizar en qué es una línea de producción y en qué consiste su equilibrado.
- Conocer el procedimiento a seguir para conseguir equilibrar una línea de producción, y su aplicación práctica.

Para alcanzar estos objetivos, se ha organizado este capítulo en diferentes epígrafes que abarcan todo lo expuesto anteriormente.

1. DISTRIBUCIÓN EN PLANTA DE LAS INSTALACIONES

Un factor muy importante de cara a la producción es la distribución en planta o *layout* de una instalación. No es más que la ubicación de las distintas salas, maquinaria, almacenes, etc., en las instalaciones de la empresa. Lo que se busca con la distribución en planta es facilitar el desplazamiento de materiales y trabajadores, que se logre un ritmo de producción sostenible en el tiempo y que se acomode a las necesidades de la empresa.

Algunas de las características deseables que debe tener una distribución en planta son que:

- Los desplazamientos que se deban realizar sean mínimos, tanto de materiales como de personas.
- Exista un mínimo almacenamiento de productos intermedios.
- Se conozca de antemano el tiempo de producción de cada producto o componente.
- En ciertos momentos sea flexible y se puedan hacer cambios limitados en la misma.
- Ayude a realizar el control de la producción.

A continuación se analizarán los distintos tipos de distribución en planta que existen, en función del proceso productivo y de los tipos de productos.

2. DISTRIBUCIÓN CON POSICIÓN FIJA

La distribución con posición fija no suele ser muy habitual, aunque es especialmente importante para la industria aeronáutica, los astilleros y el sector de la construcción, donde se emplean procesos productivos por proyectos. En esta distribución es el producto el que permanece fijo, mientras que todo lo necesario para su fabricación, como la maquinaria, recursos humanos, etc., se desplaza a su emplazamiento.

Los procesos productivos por proyectos suelen implicar gran cantidad de tiempo y de recursos, y se suelen emplear técnicas específicas, como el método PERT, CPM o ROY, para su planificación y seguimiento con ayuda de *software* informático, como, por ejemplo, Microsoft Project, Primavera, etc.

3. DISTRIBUCIÓN POR PROCESO O DE TALLERES

Este tipo de distribución es normalmente conocida como *job-shop* o funcional. En ella se agrupa la maquinaria según la función que realiza, formando cada agrupación un taller o centro de trabajo. Por ejemplo, en una fábrica se forman los siguientes centros de trabajo: de tornos, de taladros, de sierras, de prensas, de fresadoras, etc.

Uno de los objetivos de este tipo de distribuciones es que las rutas del proceso productivo minimicen los desplazamientos de materiales. Se suele utilizar para empresas que tienen una amplia variedad de productos, de los que necesitan la fabricación de lotes pequeños. Esto ocasiona que se necesite una gran flexibilidad tanto en los recursos humanos como en la maquinaria utilizada, ya que van a tener que fabricar muchos tipos diferentes de productos.

También se utiliza en las empresas de servicios, donde un ejemplo claro son los hospitales y sus diversas especialidades: urgencias, laboratorios, quirófanos, rayos X, etc.

La ventaja principal que presenta la distribución por proceso es su flexibilidad, siendo su principal inconveniente el aumento de los tiempos de preparación de lotes cuando se cambia una máquina para realizar otro producto. También es una desventaja que existe una bajada en la eficiencia de los trabajadores debido a que no son especialistas en una única tarea, sino que deben poder realizar múltiples tareas.

4. DISTRIBUCIÓN POR PRODUCTO (FLOW-SHOP LAYOUT)

4.1. PRODUCCIÓN EN LÍNEA

El nombre que recibe se debe a su distribución física en línea, donde los trabajadores o maquinaria permanecen en su puesto fijo, y es el producto el que se desplaza siguiendo el proceso productivo. Se basa en el principio de división del trabajo y especialización. Fue aplicada por primera vez en la línea de montaje de Ford Motor Company en los inicios

del siglo XX, y supuso una revolución en la forma de hacer las cosas, ya que se disminuye de forma radical el tiempo necesario para fabricar un automóvil y se logra un aumento espectacular en la producción. También es conocida como «producción en masa».

Debido a su particularidad es apta para muy pocos productos, incluso uno único, siendo los lotes de producción muy grandes. Existe una técnica para agrupar las tareas a realizar, y poder establecer el ritmo productivo que interesa en función del tiempo de trabajo disponible al día y de las unidades que se quieren producir. Se va a establecer un tiempo de ciclo, que será el tiempo que se tarda en tener una nueva unidad del producto fabricada. Se llama **equilibrado de línea de montaje** y se expondrá más adelante en este mismo capítulo.

4.2. PRODUCCIÓN CONTINUA

Es una distribución que se suele dar principalmente para la producción de diversos productos de la industria química, donde los pasos a seguir y los tiempos vienen marcados por el propio proceso de transformación. Se introduce la materia prima y, a través de las distintas partes del proceso, se va transformando hasta obtener el producto final.

Es muy eficiente, ya que el ritmo productivo lo marca la maquinaria utilizada, y no existe *stock* de productos en curso. Por el contrario no tiene flexibilidad alguna, y debe existir también un alto nivel de coordinación y sincronía. Se requiere una estandarización muy elevada para cumplir estrictamente con los tiempos y la cantidad justa de las diversas materias, en cada paso del proceso productivo.

4.3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA DISTRIBUCIÓN POR PRODUCTO

Este tipo de distribución presenta unas grandes ventajas, como son la reducción del tiempo productivo, lo que ocasiona un aumento de la producción, la disminución del flujo de materiales por la fábrica, y un menor *stock* de productos en curso.

Como desventajas de la distribución por producto están que es un sistema con muy poca flexibilidad, y no se adapta bien a cualquier modificación de lo planificado. La inversión necesaria en maquinaria también es un factor importante y que limita su aplicabilidad a sistemas productivos con una gran producción. La distribución física en línea provoca que cualquier parada en una parte del sistema ocasiona la parada de todas las partes del proceso productivo.

5. DISTRIBUCIÓN CELULAR

También llamada distribución por **tecnología de grupo**. Es una distribución híbrida entre la distribución por proceso y por producto. Parte de la agrupación de productos con las mismas características de fabricación en familias y asigna grupos de máquinas y trabajadores para la producción de cada familia, formando las células de trabajo.

Este tipo de distribución tiene como ventajas que ocasiona una disminución de los tiempos de preparación de las máquinas, así como de los tiempos de fabricación. El control visual de la instalación es mucho más simple y suele requerir planificaciones más sencillas. Por el contrario, existe una reducción de la flexibilidad de fabricación, así como un empeoramiento en la eficiencia del uso de la maquinaria.

A continuación se va a detallar un método para la obtención de las células de trabajo, llamado **ROC**. El punto de partida de este método es una tabla donde se especifican los productos o elementos que se van a fabricar (por filas) y las máquinas o procesadores por los que pasan (por columnas), pero sin especificar el orden.

Los pasos que se siguen son los siguientes:

1. Se asigna un peso a cada una de las columnas. Empezando por la columna ubicada más a la derecha se van asignando los pesos en potencias de dos: 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, etc.
2. Se calcula el valor de cada una de las filas en función del peso de las columnas. Donde haya un 1 se pone el peso, y donde no haya nada se queda vacío. Con ello se suma el valor obtenido en cada fila.
3. Se ordenan de mayor a menor los productos P según el valor obtenido. En caso de empate entre dos, se ponen aleatoriamente.
4. Se asigna un peso a cada una de las filas, siguiendo el mismo método que para las columnas, empezando por la fila inferior.
5. Se calcula el valor de cada una de las columnas en función del peso de las filas. Donde haya un 1 se pone el peso, y donde no haya nada se queda vacío. Con ello se suma el valor obtenido en cada columna.
6. Se ordenan de mayor a menor las máquinas M según el valor obtenido (M5, M1, M3, M2, M4) y se empieza otra vez con el paso 1 hasta que estén ordenados los valores obtenidos.

EJEMPLO 1. Células de trabajo: método ROC

Se tiene un taller en el que se fabrican cinco productos diferentes (P1 a P5) para lo que se utilizan las cinco máquinas de que se dispone (M1 a M5). En la siguiente tabla se especifican las máquinas por las que tiene que pasar cada uno de los diferentes productos, pero sin especificar el orden en el que transitan por las distintas máquinas.

	M1	M2	M3	M4	M5
P1		1		1	
P2	1				1
P3		1		1	
P4			1		1
P5	1		1		1

Por ejemplo, para fabricar el producto cinco (P5) se necesitan las máquinas M1, M3 y M5, aunque no necesariamente en ese orden.

El objetivo de este tipo de problemas es formar células de trabajo en las que se procesen los productos que utilizan las mismas máquinas para ser fabricados. Cada célula de trabajo estará formada por esas máquinas.

Solución

Para ello se va a utilizar el método ROC, que es un algoritmo iterativo, que sigue los siguientes pasos:

1. Se asigna un peso a cada una de las columnas. Empezando por la columna ubicada más a la derecha se van asignando los pesos en potencias de dos: 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, etc.

Peso	16	8	4	2	1
	M1	M2	M3	M4	M5
P1		1		1	
P2	1				1
P3		1		1	
P4			1		1
P5	1		1		1

..../....

.../...

2. Se calcula el valor de cada una de las filas en función del peso de las columnas. Donde haya un 1 se pone el peso, y donde no haya nada se queda vacío. Con ello se suma el valor obtenido en cada fila.

Peso	16	8	4	2	1	
	M1	M2	M3	M4	M5	Valor
P1		8		2		10
P2	16				1	17
P3		8		2		10
P4			4		1	5
P5	16		4		1	21

3. Se ordenan de mayor a menor los productos P según el valor obtenido. En caso de empate entre dos, se ponen aleatoriamente. El de mayor puntuación ha sido P5, luego P2, P1, P3 y P4.

	M1	M2	M3	M4	M5
P5	1		1		1
P2	1				1
P1		1		1	
P3		1		1	
P4			1		1

4. Se asigna un peso a cada una de las filas, siguiendo el mismo método que para las columnas.

	M1	M2	M3	M4	M5	Peso
P5	1		1		1	16
P2	1				1	8
P1		1		1		4
P3		1		1		2
P4			1		1	1

.../...

.../...

5. Se calcula el valor de cada una de las columnas en función del peso de las filas. Donde haya un 1 se pone el peso, y donde no haya nada se queda vacío. Con ello se suma el valor obtenido en cada columna.

Valor	24	6	17	6	25	
	M1	M2	M3	M4	M5	Peso
P5	16		16		16	16
P2	8				8	8
P1		4		4		4
P3		2		2		2
P4			1		1	1

6. Se ordenan de mayor a menor las máquinas M según el valor obtenido (M5, M1, M3, M2, M4) y se empieza otra vez con el paso 1 hasta que estén ordenados los valores obtenidos.

	M5	M1	M3	M2	M4
P5	1	1	1		
P2	1	1			
P1				1	1
P3				1	1
P4	1		1		

Se asignan pesos a las columnas.

Peso	16	8	4	2	1
	M5	M1	M3	M2	M4
P5	1	1	1		
P2	1	1			
P1				1	1
P3				1	1
P4	1		1		

.../...

.../...

Y se obtiene el valor de cada fila.

Peso	16	8	4	2	1	
	M5	M1	M3	M2	M4	Valor
P5	16	8	4			28
P2	16	8				24
P1				2	1	3
P3				2	1	3
P4	16		4			20

Se ordenan de mayor a menor los productos P según el valor obtenido.

	M5	M1	M3	M2	M4
P5	1	1	1		
P2	1	1			
P4	1		1		
P1				1	1
P3				1	1

Se asignan pesos a las filas.

	M5	M1	M3	M2	M4	Peso
P5	1	1	1			16
P2	1	1				8
P4	1		1			4
P1				1	1	2
P3				1	1	1

.../...

.../...

Y se obtienen los valores por columnas.

Valor	28	24	20	3	3	
	M5	M1	M3	M2	M4	Peso
P5	16	16	16			16
P2	8	8				8
P4	4		4			4
P1				2	2	2
P3				1	1	1

Como ya los valores aparecen ordenados, indica que se ha llegado al final del algoritmo. Para identificar las células de trabajo solo hay que mirar en la tabla que se habrán formado grupos de 1 en la diagonal de la tabla.

	M5	M1	M3	M2	M4
P5	1	1	1		
P2	1	1			
P4	1		1		
P1				1	1
P3				1	1

La primera célula de trabajo estará formada por las máquinas M1, M3 y M5, y se encargará de fabricar los productos P2, P4 y P5.

La segunda célula de trabajo estará formada por las máquinas M2 y M4, y se encargará de fabricar los productos P1 y P3.

6. TÉCNICA DE EQUILIBRADO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN

Se tiene la siguiente información como punto de partida:

- Hay que conocer las tareas o actividades que deben realizarse en la línea de producción y la secuenciación de las mismas; es decir, saber el orden de realización dentro del proceso productivo.
- Es necesario conocer las horas de trabajo diarias dedicadas a la fabricación.
- La producción diaria que se quiere obtener debe estar definida.

El trabajo a realizar en el proceso productivo se va a dividir en estaciones de trabajo. Se deberá obtener el número mínimo de estaciones de trabajo que van a ser necesarias, y las tareas que deben realizarse en cada una de ellas. El tiempo destinado en cada una de las estaciones de trabajo para realizar una unidad del producto final debe ser lo más similar posible, para lograr el equilibrado que se desea.

Un equilibrado de una línea de producción debe seguir los siguientes pasos:

1. Representación gráfica de la línea de producción. Realizar el diagrama de precedencias, utilizando un círculo para representar las tareas y uniéndolas mediante flechas. Encima de cada círculo se indicará la duración de la tarea en segundos.
2. Determinar el tiempo de ciclo necesario. Será el tiempo máximo que podrá dedicar una estación de trabajo para la fabricación de una unidad. Se da en segundos y se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Tiempo de ciclo (C)} = \frac{\text{Tiempo de producción diario}}{\text{Producción diaria}}$$

3. En función del tiempo de ciclo obtenido, se calcula el número mínimo de estaciones de trabajo necesarias:

$$\text{Número mínimo de estaciones de trabajo (Ne)} = \frac{\text{Suma de tiempos de todas las tareas (T)}}{\text{Tiempo de ciclo (C)}}$$

4. Hay que seleccionar una regla principal para ir asignando las tareas a las estaciones de trabajo, y una regla secundaria si es necesaria para los casos de empate con la regla principal.

.../...

.../...

5. En función de las reglas establecidas, se irán asignando las tareas, una a una, a las estaciones de trabajo. Para ello habrá que ir estableciendo cuáles son las tareas candidatas a ser elegidas. Una tarea podrá ser candidata cuando todas sus tareas precedentes ya hayan sido asignadas, y su tiempo de realización sea menor o igual que el tiempo no asignado en la estación de trabajo. El diagrama de precedencias será de gran ayuda en este punto.
6. Por último, habrá que evaluar la eficiencia de la solución adoptada, mediante el uso de la siguiente fórmula:

$$\text{Eficiencia} = \frac{T}{\text{Nr} \times C}$$

siendo Nr el número real de estaciones de trabajo necesarias.

EJEMPLO 2. Equilibrado de líneas de producción

Se quiere producir 320 unidades diarias de un producto P en nuestras instalaciones, en las que se trabaja 8 horas al día. Se quiere realizar el equilibrado de la línea de montaje, utilizando como regla principal el asignar la tarea, dentro de las posibles candidatas, que tenga una mayor duración. Calcular la eficiencia de la solución propuesta. Las tareas que deben realizarse, con su tiempo de realización en segundos, y las precedencias entre tareas son las siguientes:

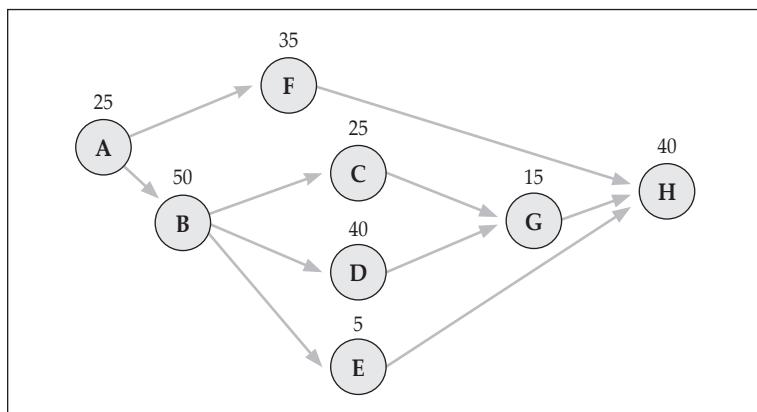
Tarea	Tiempo de realización (segundos)	Tareas precedentes
A	25	-
B	50	A
C	25	B
D	40	B
E	5	B
F	35	A
G	15	C, D
H	40	F, G, E

Se va a realizar el ejemplo siguiendo los pasos descritos.

.../...

.../...

1. Diagrama de precedencias



2. Determinar el tiempo de ciclo. El tiempo de producción al día se expresa en segundos.

$$\begin{aligned}
 C &= \frac{\text{Tiempo de producción diario}}{\text{Producción diaria}} = \\
 &= \frac{8 \times 60 \times 60}{320} = 90 \text{ segundos}
 \end{aligned}$$

3. Calcular el número mínimo de estaciones de trabajo necesarias.

$$\begin{aligned}
 Ne &= \frac{\text{Suma de tiempos de todas las tareas (T)}}{\text{Tiempo de ciclo (C)}} = \\
 &= \frac{235}{90} = 2,61 \rightarrow 3 \text{ estaciones}
 \end{aligned}$$

4. Regla principal de asignación. Tarea con mayor duración.

5. Asignar tareas una a una. Una tarea podrá ser candidata cuando todas sus tareas precedentes ya hayan sido asignadas, y su tiempo de realización sea menor o igual que el tiempo no asignado en la estación de trabajo.

.../...

.../...

- *Primera tarea a asignar.* Si se observa el diagrama de precedencias, se ve que la única candidata es la tarea A, ya que es la tarea de inicio.

Como su duración es de 25 segundos, todavía quedarían por asignar 65 segundos en la estación 1.

Estación	Tareas candidatas	Tarea asignada	Tiempo tarea asignada (segundos)	Tiempo no asignado en estación (segundos)
1	A	A	25	90 – 25 = 65

- *Segunda tarea a asignar.* Observando el diagrama de precedencias, una vez asignada la tarea A, las candidatas son las tareas F y B, que son las inmediatas sucesoras. Se selecciona la tarea B ya que tiene mayor duración que la tarea F. Todavía quedarían por asignar 15 segundos de la estación de trabajo 1.

Estación	Tareas candidatas	Tarea asignada	Tiempo tarea asignada (segundos)	Tiempo no asignado en estación (segundos)
1	A F, B	A B	25 50	90 – 25 = 65 65 – 50 = 15

- *Tercera tarea a asignar.* A partir del diagrama, las tareas candidatas a priori serían las tareas F, C, D y E. Pero hay que considerar que en la estación 1 solo quedan 15 segundos por asignar, lo que implica que las tareas de mayor duración no podrán ser finalmente candidatas. Por tanto, la única candidata es la tarea E, y todavía quedarían 10 segundos por asignar en la estación 1.

Estación	Tareas candidatas	Tarea asignada	Tiempo tarea asignada (segundos)	Tiempo no asignado en estación (segundos)
1	A F, B E	A B E	25 50 5	90 – 25 = 65 65 – 50 = 15 15 – 5 = 10

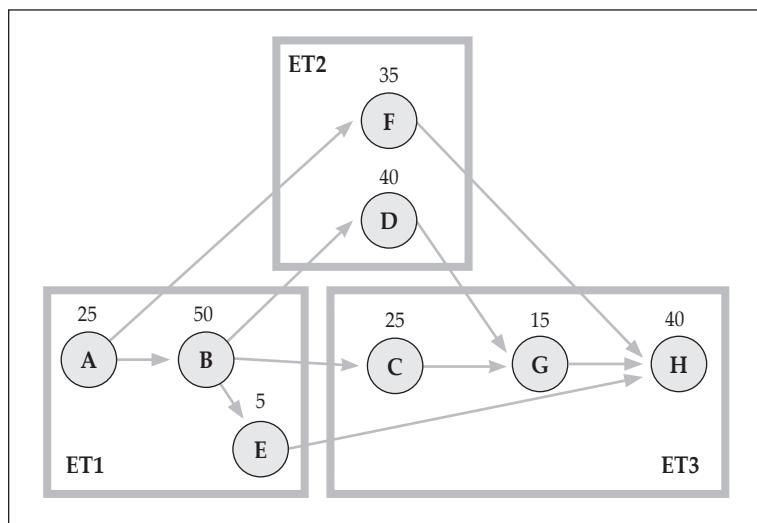
.../...

.../...

- Cuarta tarea a asignar.* Una vez asignadas las tareas A, B y E, las posibles candidatas son las tareas F, C y D. Como el tiempo de todas es mayor de los 10 segundos que quedan por asignar en la estación 1, la nueva tarea asignada ya pertenecerá a la estación de trabajo 2. Será la tarea D. Y continuando con este método quedaría como se muestra a continuación:

Estación	Tareas candidatas	Tarea asignada	Tiempo tarea asignada (segundos)	Tiempo no asignado en estación (segundos)
1	A	A	25	90 - 25 = 65
	F, B	B	50	65 - 50 = 15
	E	E	5	15 - 5 = 10
2	F, C, D	D	40	90 - 40 = 50
	F, C	F	35	50 - 35 = 15
3	C	C	25	90 - 25 = 65
	G	G	15	65 - 15 = 50
	H	H	40	50 - 40 = 10

El diagrama de precedencias incluyendo las estaciones de trabajo quedaría:



.../...

.../...

6. Eficiencia

$$\text{Eficiencia} = \frac{T}{Nr \times C} = \frac{235}{3 \times 90} = 0,87 \rightarrow 87\%$$

Siendo C el tiempo de ciclo, Nr, el número real de estaciones de trabajo, y T, la suma de tiempos de todas las tareas. En este caso es la mejor eficiencia posible, ya que se tiene el número mínimo de estaciones de trabajo.

Los tiempos no asignados en cada estación son:

- ET1: 10 segundos.
- ET2: 15 segundos.
- ET3: 10 segundos.

Se puede comprobar que se evita que haya estaciones de trabajo mucho más sobre-cargadas que otras, por lo que es una buena solución.

Como cada estación de trabajo tiene como mínimo 10 segundos no asignados, se podría reducir el tiempo de ciclo a 80 segundos.

¿Qué proporcionaría esta bajada del tiempo de ciclo?

- Un posible aumento de producción diario:

Producción diaria = Tiempo de producción diario/Tiempo de ciclo = $(8 \times 60 \times 60)/80 = 360$ unidades al día $\rightarrow 360/320 \approx 1,125 \rightarrow 12,5\%$ más de producción diaria si se necesita.

- Una reducción del tiempo de producción diario necesario:

Tiempo de producción diario = Producción diaria \times Tiempo de ciclo = $= 320 \times 80 = 25.600$ segundos = 7,11 horas. Solo sería necesario trabajar al día 7,11 horas en lugar de las 8 horas, lo que equivale a una reducción de aproximadamente 53 minutos al día.



CONCEPTOS BÁSICOS

- Algoritmo ROC.
- Diagrama de precedencias.
- Distribución celular.
- Distribución en posición fija.
- Distribución por proceso (por talleres o funcional o *job shop*).
- Distribución por producto.
- Eficiencia del equilibrado de líneas de producción.
- Equilibrado de líneas de producción.
- Estación de trabajo.
- Producción continua.
- Producción en línea.
- Tiempo de ciclo.



ACTIVIDADES DE AUTOCOMPROBACIÓN

Enunciado 1

¿En qué consiste una distribución en planta en posición fija?

Enunciado 2. Células de trabajo: método ROC

Se tiene un taller en el que se fabrican siete diferentes productos (P1 a P7) para lo que se utilizan las siete máquinas de que se dispone (M1 a M7). En la siguiente tabla se especifican las máquinas por las que tiene que pasar cada uno de los diferentes productos, pero sin especificar el orden por el que transitan por las distintas máquinas:

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
P1	1					1	
P2				1			1
P3		1					
P4					1	1	
P5	1				1	1	
P6		1	1				
P7				1			1

Aplicar el método ROC y determinar las células de trabajo que van a ser necesarias y qué productos fabricaría cada una de ellas.

Enunciado 3

Resuelva el siguiente problema de equilibrado de líneas de producción: se quiere producir 480 unidades diarias de un producto P en nuestras instalaciones, en las que se trabaja 8 horas al día. Se quiere realizar el equilibrado de la línea de montaje, utilizando como regla principal el asignar la tarea, dentro de las posibles candidatas, que tenga una mayor duración. Calcular la eficiencia de la solución propuesta. Las tareas que deben realizarse, con su tiempo de realización en segundos, y las precedencias entre tareas se muestran a continuación:

Tarea	Tiempo de realización (segundos)	Tareas precedentes
A	40	–
B	30	A
C	50	A
D	40	B
E	6	B
F	25	C
G	15	C
H	20	D, E
I	48	G, F, H

Enunciado 4. Equilibrado de una línea de producción

Se quiere producir 540 unidades diarias de un producto P en nuestras instalaciones, en las que se trabaja 24 horas al día.

- Realizar el equilibrado de la línea de montaje, utilizando como regla principal el asignar la tarea, dentro de las posibles candidatas, que tenga una mayor duración. En caso de empate, se elegirá aquella tarea que tenga un mayor número de tareas posteriores.
- Calcular la eficiencia de la solución propuesta.
- ¿Es buena la solución obtenida? ¿Por qué?

Las tareas que deben realizarse, con su tiempo de realización en segundos, y las precedencias entre tareas son las siguientes:

Tarea	Tiempo de realización (segundos)	Tareas precedentes
A	75	–
B	50	–
C	30	A
D	25	A
E	45	B
F	55	D
G	70	D
H	50	F, G
I	25	E
J	90	H, I, C

Enunciado 5

Se quiere producir 450 unidades diarias de un producto P en nuestras instalaciones, en las que se trabaja 10 horas al día.

- Realizar el equilibrado de la línea de montaje, utilizando como regla principal el asignar la tarea, dentro de las posibles candidatas, que tenga una mayor duración.

En caso de empate, se elegirá aquella tarea que tenga un mayor número de tareas posteriores.

- Calcular la eficiencia de la solución propuesta.
- ¿Es buena la solución obtenida? ¿Por qué?

Las tareas que deben realizarse, con su tiempo de realización en segundos, y las precedencias entre tareas son las siguientes:

Tarea	Tiempo de realización (segundos)	Tareas precedentes
A	20	–
B	35	–
C	10	B
D	15	A
E	25	A
F	40	C
G	5	D, E
H	30	B
I	25	F, G, H

Solución 1

En esta distribución el producto permanece fijo, debido a su tamaño o peso fundamentalmente, y son los trabajadores, la maquinaria y los materiales los que se mueven hacia su emplazamiento. Este caso es típico de la construcción de barcos, aviones, edificios, etc. Suele darse esta distribución cuando es un proceso productivo por proyectos.

Solución 2

Se deben seguir los pasos descritos en este capítulo:

1 y 2. Se asigna un peso a cada una de las columnas y se calcula el valor de cada una de las filas en función del peso dado:

Peso	64	32	16	8	4	2	1	
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	Valor
P1	1					1		66
P2				1			1	9
P3		1						32
P4					1	1		6
P5	1				1	1		70
P6		1	1					48
P7				1			1	9

3. Se ordenan de mayor a menor los productos P según el valor obtenido. En caso de empate entre dos, se ponen aleatoriamente:

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
P5	1				1	1	
P1	1					1	
P6		1	1				
P3		1					
P2				1			1
P7				1		1	
P4					1	1	1

4 y 5. Se asigna un peso a cada una de las filas, siguiendo el mismo método que para las columnas. Se calcula el valor de cada una de las columnas en función del peso de las filas:

Valor	96	24	16	6	65	97	6	
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	Peso
P5	1				1	1		64
P1	1					1		32
P6		1	1					16
P3		1						8
P2				1			1	4
P7				1			1	2
P4					1	1		1

6. Se ordenan de mayor a menor las máquinas M según el valor obtenido y se empieza otra vez con el paso 1 hasta que estén ordenados los valores obtenidos:

	M6	M1	M5	M2	M3	M4	M7
P5	1	1	1				
P1	1	1					
P6				1	1		
P3					1		
P2						1	1
P7						1	1
P4	1		1				

Se asignan pesos a las columnas y se obtiene el valor de cada fila:

Peso	64	32	16	8	4	2	1	
	M6	M1	M5	M2	M3	M4	M7	Valor
P5	1	1	1					112
P1	1	1						96
P6				1	1			12
P3				1				8
P2						1	1	3
P7					1	1	1	3
P4	1		1					80

Se ordenan de mayor a menor los productos P según el valor obtenido:

	M6	M1	M5	M2	M3	M4	M7
P5	1	1	1				
P1	1	1					
P4	1		1				
P6				1	1		
P3				1			
P2						1	1
P7						1	1

Se asignan pesos a las filas y se obtienen los valores por columnas:

Valor	112	96	80	12	8	3	3	
	M6	M1	M5	M2	M3	M4	M7	Peso
P5	1	1	1					64
P1	1	1						32
P4	1		1					16
P6				1	1			8
P3				1				4
P2						1	1	2
P7						1	1	1

Como ya los valores aparecen ordenados, indica que se ha llegado al final del algoritmo. Para identificar las células de trabajo solo hay que mirar en la tabla que se habrán formado grupos de 1 en la diagonal de la tabla:

- La primera célula de trabajo estará formada por las máquinas M1, M5 y M6, y se encargará de fabricar los productos P1, P4 y P5.
- La segunda célula de trabajo estará formada por las máquinas M2 y M3, y se encargará de fabricar los productos P3 y P6.
- La tercera célula de trabajo estará formada por las máquinas M4 y M7, y se encargará de fabricar los productos P2 y P7.

	M6	M1	M5	M2	M3	M4	M7
P5	1	1	1				
P1	1	1					
P4	1		1				
P6				1	1		
P3				1			
P2						1	1
P7						1	1

Solución 3

Se deben seguir los pasos descritos en este capítulo:

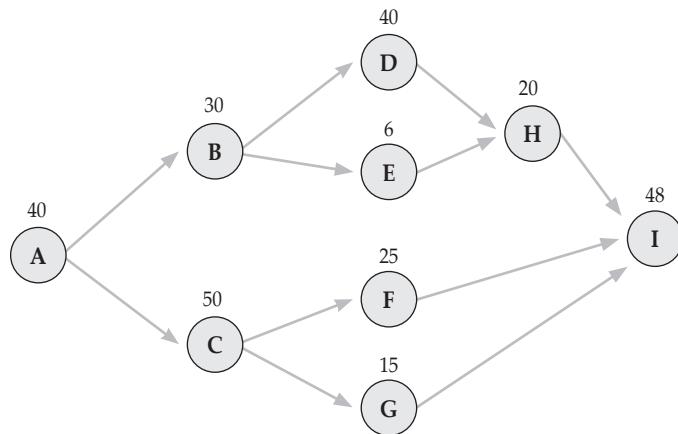
1. Diagrama de precedencias (véase figura 3).
2. Determinar el tiempo de ciclo. El tiempo de producción al día se expresa en segundos.

$$C = \frac{\text{Tiempo de producción diario}}{\text{Producción diaria}} = \frac{8 \times 60 \times 60}{480} = 60 \text{ segundos}$$

3. Calcular el número mínimo de estaciones de trabajo necesarias.

$$Ne = \frac{\text{Suma de tiempos de todas las tareas (T)}}{\text{Tiempo de ciclo (C)}} = \frac{274}{60} = 4,56 \rightarrow 5 \text{ estaciones}$$

4. Regla principal de asignación: tarea con mayor duración.



5. Asignar tareas una a una. Una tarea podrá ser candidata cuando todas sus tareas precedentes ya hayan sido asignadas, y su tiempo de realización sea menor o igual que el tiempo no asignado en la estación de trabajo.

Estación	Tareas candidatas	Tarea asignada	Tiempo tarea asignada (segundos)	Tiempo no asignado en estación (segundos)
1	A	A	40	60 - 40 = 20
2	B, C	C	50	60 - 50 = 10
3	B, F, G E, F, G	B F	30 25	60 - 30 = 30 30 - 25 = 5
.../...				

Estación	Tareas candidatas	Tarea asignada	Tiempo tarea asignada (segundos)	Tiempo no asignado en estación (segundos)
.../...				
4	D, E, G E, G	D G	40 15	60 - 40 = 20 20 - 15 = 5
5	E H	E H	6 20	60 - 6 = 54 54 - 20 = 34
6	I	I	48	60 - 48 = 12

6. Eficiencia

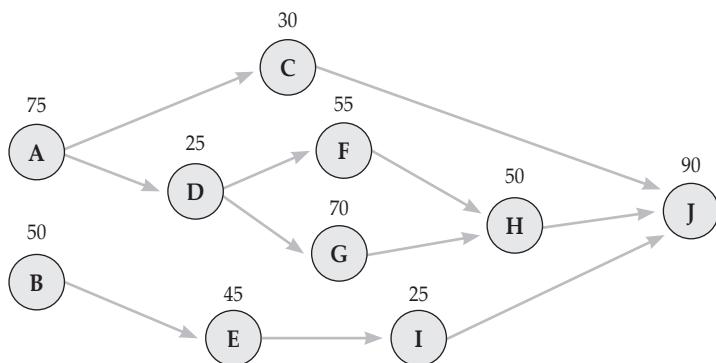
$$\text{Eficiencia} = \frac{T}{\text{Nr} \times C} = \frac{274}{6 \times 60} = 0,76 \rightarrow 76\%$$

siendo C el tiempo de ciclo; Nr, el número real de estaciones de trabajo, y T, la suma de tiempos de todas las tareas.

Solución 4

Se deben seguir los pasos descritos en este capítulo.

El diagrama de red es el siguiente:



Tiempo de ciclo: $C = 24 \times 60 \times 60 / 540 = 160$ segundos.

Número mínimo de estaciones de trabajo = $515 / 160 = 3,21 \rightarrow 4$ estaciones de trabajo.

Estación	Tareas candidatas	Tarea asignada	Tiempo tarea asignada (segundos)	Tiempo no asignado en estación (segundos)
1	A, B	A	75	85
	B, C, D	B	50	35
	C, D	C	30	5
2	D, E	E	45	115
	D, I	D	25	90
	F, G, I	G	70	20
3	F, I	F	55	105
	H, I	H	50	55
	I	I	25	30
4	J	J	90	70

$$\text{Eficiencia} = 515 / (4 \times 160) = 0,8046 \rightarrow 80,5\%$$

La eficiencia es la mejor posible para este tiempo de ciclo ya que se han requerido justo el número mínimo de estaciones necesarias.

Con respecto al tiempo no asignado por estación de trabajo se tiene el siguiente:

Estación	Tiempo no asignado en estación (segundos)
1	5
2	20
3	30
4	70

Por tanto no hay una buena nivelación entre las distintas estaciones de trabajo. Se podría buscar otra regla de asignación para ver si se logra una solución más nivelada.

Como el tiempo no asignado es como mínimo de 5 segundos en todas las estaciones de trabajo, se puede disminuir el tiempo de ciclo en esos 5 segundos, pasando a ser de 155 segundos.

Con este nuevo tiempo de ciclo, trabajando 24 horas al día, se podría aumentar la producción diaria.

Se podría producir $(24 \times 60 \times 60)/155 = 557,4 \rightarrow 557$ unidades, en lugar de 540 unidades.

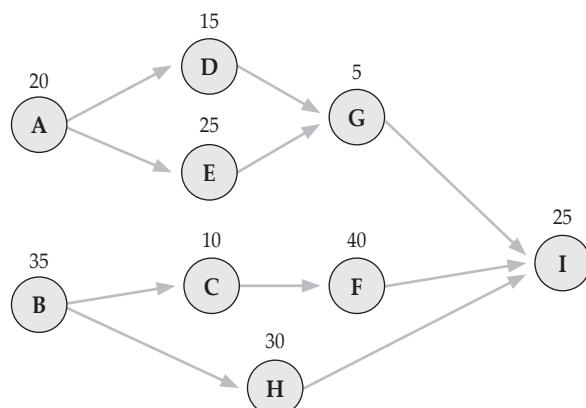
La eficiencia resultante será:

$$\text{Eficiencia} = 515/(4 \times 155) = 0,8306 \rightarrow 83,1\%$$

Solución 5

Se deben seguir los pasos descritos en este capítulo.

El diagrama de red es el siguiente:



Tiempo de ciclo: $C = 10 \times 60 \times 60/450 = 80$ segundos.

Número mínimo de estaciones de trabajo = $205/80 = 2,56 \rightarrow 3$ estaciones de trabajo.

Estación	Tareas candidatas	Tarea asignada	Tiempo tarea asignada (segundos)	Tiempo no asignado en estación (segundos)
1	A, B	B	35	45
	A, C, H	H	30	15
	C	C	10	5
2	A, F	F	40	40
	A	A	20	20
	D	D	15	5
3	E	E	25	55
	G	G	5	50
	I	I	25	25

$$\text{Eficiencia} = 205/(3 \times 80) = 0,854 \rightarrow 85,4\%$$

La eficiencia es la mejor posible para este tiempo de ciclo ya que se han requerido justo el número mínimo de estaciones necesarias.

Con respecto al tiempo no asignado por estación de trabajo se tiene el siguiente:

Estación	Tiempo no asignado en estación (segundos)
1	5
2	5
3	25

Por tanto no hay una buena nivelación entre las distintas estaciones de trabajo.

Como el tiempo no asignado es como mínimo de 5 segundos en todas las estaciones de trabajo, se puede disminuir el tiempo de ciclo en esos 5 segundos, pasando a ser de 75 segundos.

Con este nuevo tiempo de ciclo, se podría:

- Disminuir el tiempo productivo diario. Se necesitaría $(75 \times 450)/(60 \times 60) = 9,375$ horas, en lugar de las 10 horas.
- Aumentar la producción diaria. Se podría producir $(10 \times 60 \times 60)/75 = 480$ unidades, en lugar de 450 unidades.

La eficiencia resultante será:

$$\text{Eficiencia} = 205/(3 \times 75) = 0,911 \rightarrow 91,1\%$$



EJERCICIOS VOLUNTARIOS

1. ¿Qué ventajas y desventajas hay en la distribución por producto?
2. Resuelva el siguiente problema sobre equilibrado de líneas de producción: se quiere producir 360 unidades diarias de un producto en nuestras instalaciones, en las que se trabaja 8 horas al día. Se quiere realizar el equilibrado de la línea de montaje, utilizando como regla principal el asignar la tarea, dentro de las posibles candidatas, que tenga una mayor duración. Calcular la eficiencia de la solución propuesta. Las tareas que deben realizarse, con su tiempo de realización en segundos, y las precedencias entre tareas se muestran a continuación:

Tarea	Tiempo de realización (segundos)	Tareas precedentes
A	25	—
B	35	A
C	50	A
D	30	B, C
E	24	B
F	10	D
G	20	E
H	26	G, F



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Básica

- Ardalan, A. «An efficient heuristic for service facility location», Proceedings, Northeast Decision Sciences Institute Conference, 1984.
- Chapman, S. N. *Planificación y control de la producción*, México, Pearson Education, 2006.
- Davis, M. M.; Aquilano, N. J. y Chase, R. B. *Fundamentals of operations management*, International Edition, McGraw-Hill, 1999.
- *Administración de producción y operaciones. Manufactura y servicios*, Santa Fe de Bogotá, McGraw-Hill, 2000.
- Domínguez Machuca, J. A. et al. *Dirección de operaciones. Aspectos tácticos y operativos en la producción y los servicios*, Madrid, McGraw-Hill, 1995.
- Gaither, N. y Frazier, G. *Administración de producción y operaciones*, México, Thomson Editores, 2000.
- Heizer, J. y Render, B. *Dirección de la producción. Decisiones tácticas*, Madrid, Pearson Education, 2001.
- Peña Esteban, F. D. de la. *Dirección de la producción*, Madrid, CEF, 2011.
- Peña Esteban, F. D. de la et al. *Problemas de organización industrial*, Madrid, Vision Net, 2005.

Avanzada

- Aguirre, J. M.; Rodríguez, M. M. y Tous, D. *Organización y métodos de trabajo*, Madrid, Pirámide, 2002.
- Bufa, E. S. *Dirección de operaciones*, México, Limusa, 1973.
- Drucker, P. F. *La gerencia*, Buenos Aires, El Ateneo, 1973.
- Simchi-Levi, D.; Kaminsky, P. y Simchi-Levi, E. *Designing and managing the supply chain: concepts, strategies and case studies*, New York, McGraw-Hill, 2000.