





Balance de Líneas de Producción

PS 4161 Gestión de la Producción I



- Equilibrado de la línea de producción
 - Línea de fabricación
 - Línea de ensamblaje



Cuando haya completado este capítulo, debe ser capaz de:

- *Describir o explicar:*
 - Cómo equilibrar el flujo de producción en una instalación repetitiva u orientada al producto



- El problema de balance de líneas de producción consiste en distribuir físicamente las tareas o procesos individuales entre estaciones o celdas de trabajo, con el objetivo (idealmente) de que cada estación de trabajo nunca esté ociosa.
- Se genera en organizaciones orientadas al producto.
 - Dispuesta para fabricar un producto específico.



Problema de balance de líneas de producción

- Asignar tareas individuales a estaciones de trabajo tal que se optimice una cierta medida de desempeño definida para tal fin.
- Existe un balance perfecto en una línea de producción, cuando todas sus estaciones de trabajo tienen la misma cantidad de labor y el producto fluye sin retrasos.



- Su objetivo es **minimizar el desbalance** en la línea de fabricación o ensamblaje:
- **Balancear** la salida de cada estación de trabajo
- **Reducir los desequilibrios** entre máquinas o personal, al tiempo que se obtiene la producción deseada de la línea.



- Crear un flujo suave y continuo sobre la línea de producción.
- Mínimo de tiempo ocioso entre cada estación.
- Maximizar la eficacia.
- Minimizar el número de las estaciones de trabajo.

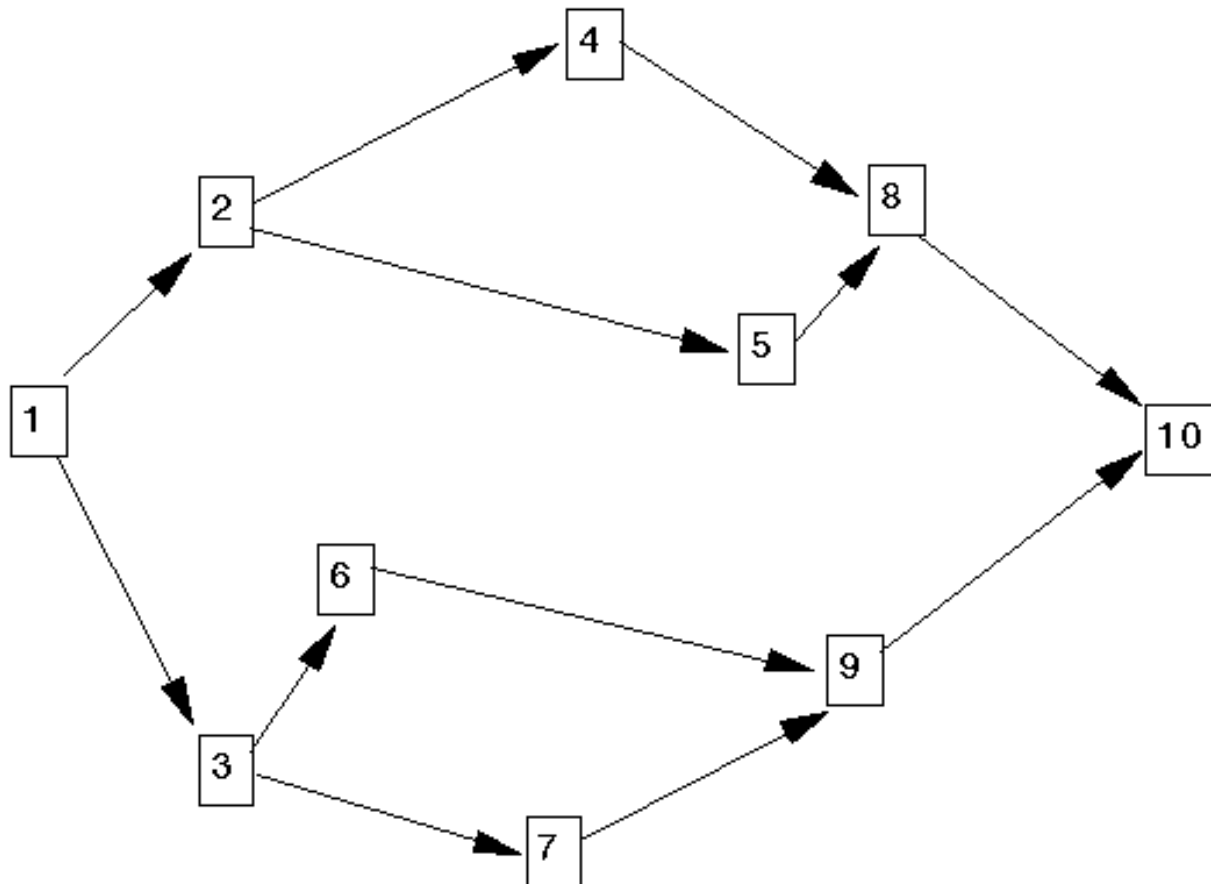


➤ Una industria desea estructurar una línea de ensamblaje para producir un determinado producto, requiriendo para ello, la realización de 10 tareas.

Tarea	Tiempo (segs)	Tarea Predecesora
1	40	2,3
2	30	4,5
3	50	6,7
4	40	8
5	6	8
6	25	9
7	15	9
8	20	10
9	18	10
10	30	-

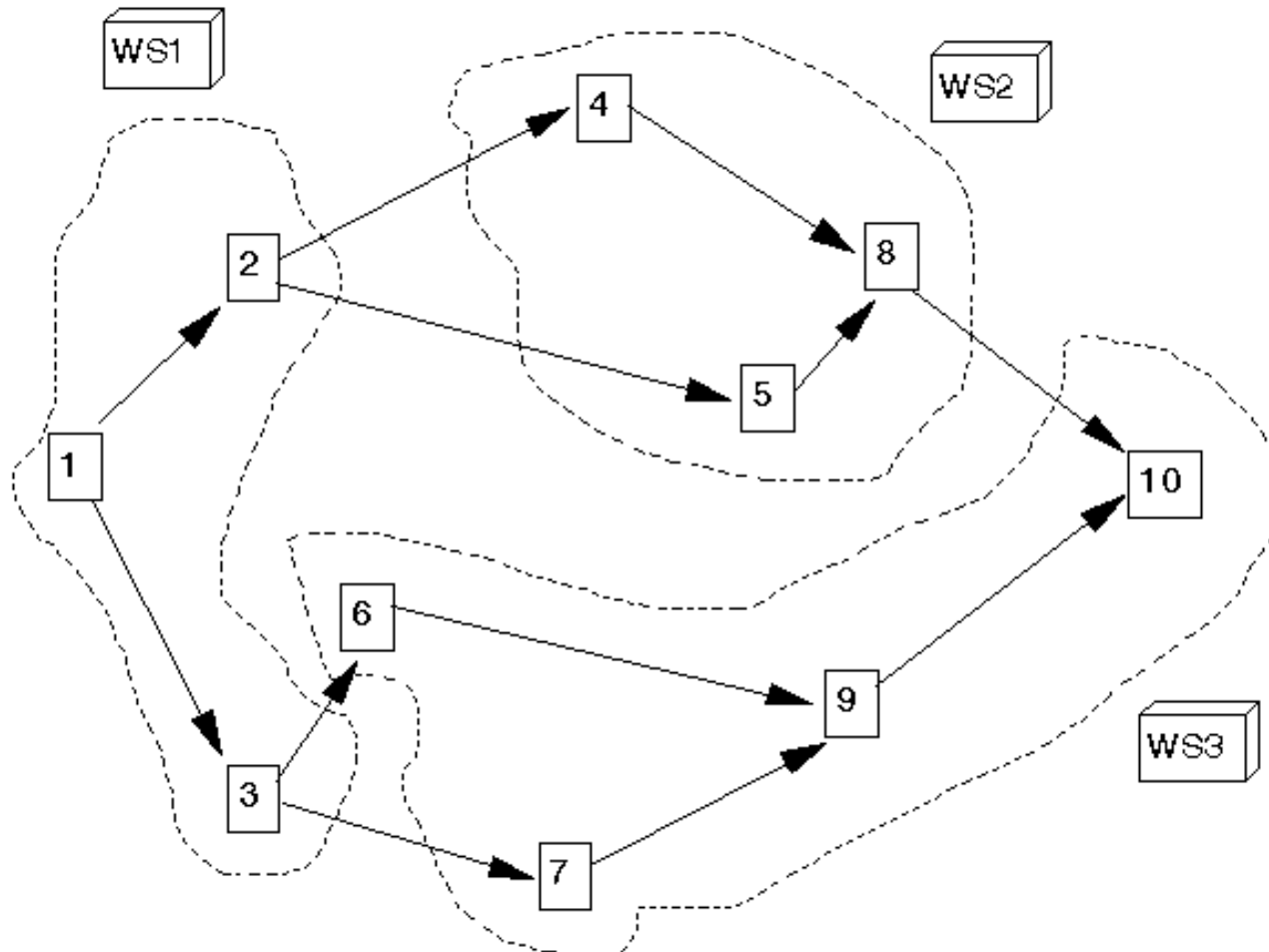


➤ Tareas y su precedencia



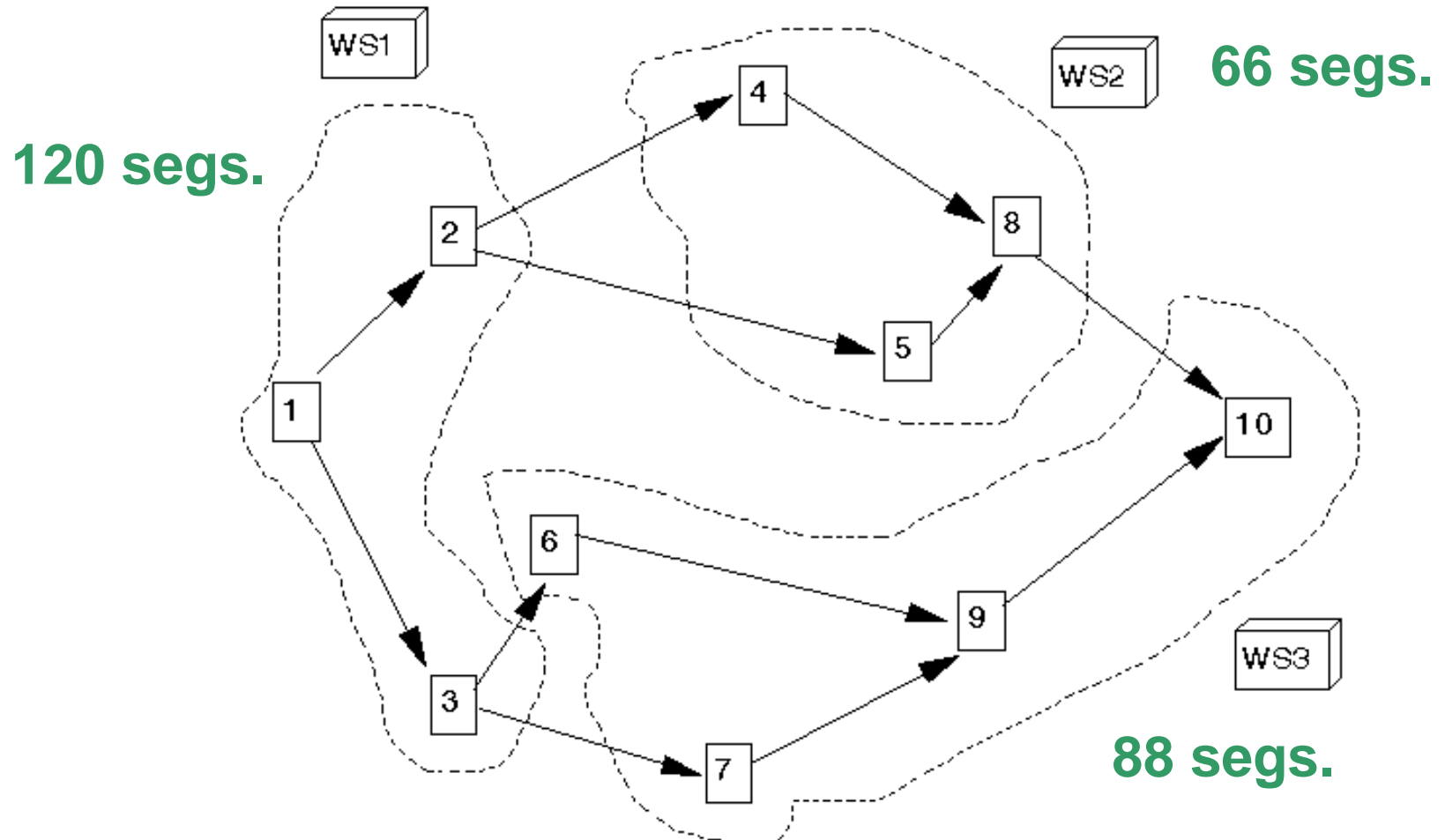


➤ Distribución posible





➤ Distribución posible

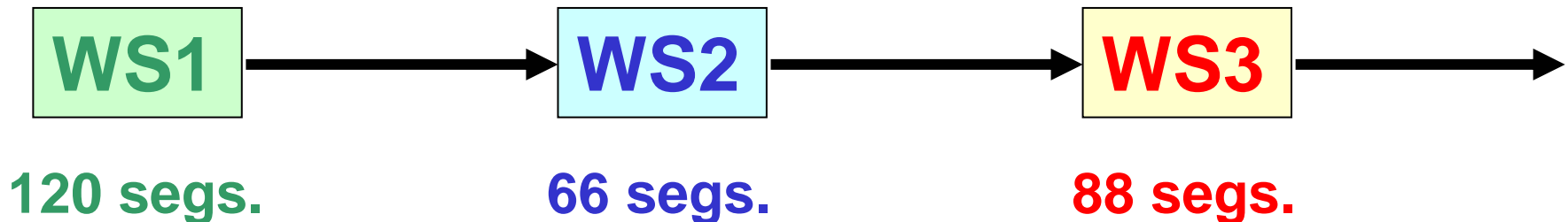




- Las estaciones de trabajo
 - Trabajan en paralelo
 - Al mismo tiempo se efectúan tareas en cada estación de trabajo
- La idea es que las estaciones de trabajo se pasen el producto en proceso *“in step”*
 - todas a la vez
 - en el mismo momento



- WS1 le pasa a WS2
- WS2 le pasa a WS3
- WS3 le pasa a la próxima etapa en el proceso



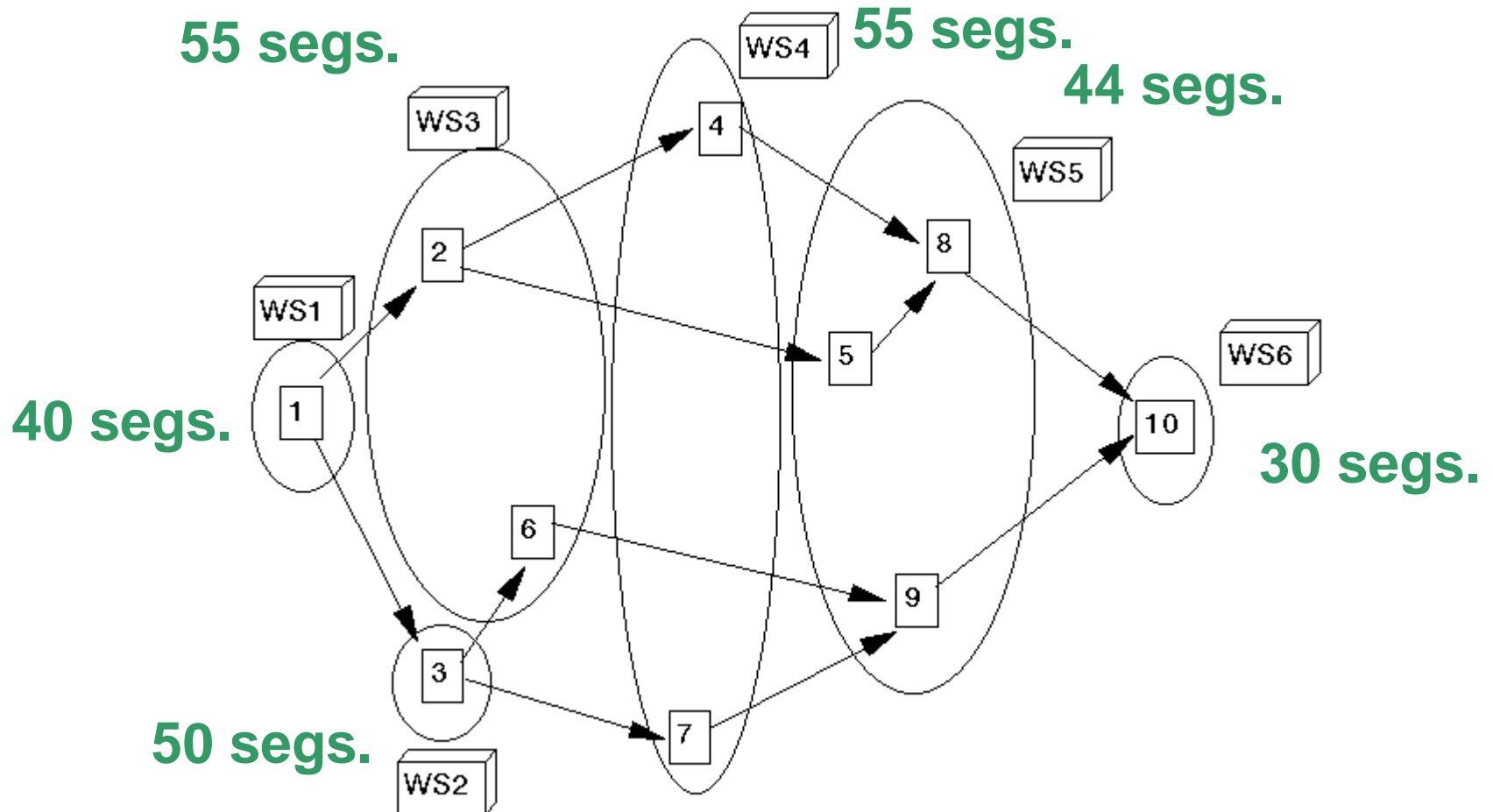
- Ninguna estación de trabajo puede pasar el producto hasta que la siguiente halla terminado su proceso (*estrategia just-in time*)



- En la solución planteada, la línea de ensamblaje termina un producto cada *120 segs.*
- El sistema progresa a la velocidad de la estación de trabajo *más lenta.*



- Distribución con 6 estaciones de trabajo a fin de tener al menos un producto cada 60 segs.





Problema de balance de líneas de producción

- Asignación de n procesos a k estaciones de trabajo, minimizando el tiempo muerto sujeto a restricciones de precedencia.
- Se requiere definir los n procesos necesarios para la elaboración de un cierto producto en k estaciones de trabajo.

$$k \leq n$$



- *El tiempo de ciclo, c , es el tiempo que permanece cada pieza o producto en proceso en cada estación.*

Tiempo de producción disponible por unidad de tiempo

$$C = \frac{\text{Tiempo de producción disponible por unidad de tiempo}}{\text{Demanda por unidad de tiempo o Tasa de producción por unidad de tiempo}}$$

Demanda por unidad de tiempo o Tasa de producción por unidad de tiempo

- Es el tiempo que marca la velocidad de procesamiento del producto.
- Cada vez que se cumple el tiempo de ciclo, cada estación debe pasar el producto en proceso a la siguiente estación.



- $c =$ Tiempo/unidad de producto.
- Es un dato dado previamente.
- No tiene sentido establecer una distribución de estaciones para producir, por ejemplo, 90 unidades cada hora ($c = 3600/90 = 40$ segs/unidad), si sólo requerimos 45 unidades por hora ($c = 3600/45 = 80$ segs/unidad).



- El *tiempo muerto*, TM , es la medida de desempeño utilizada en un problema de balance de líneas de producción.

$$TM = kc - \sum_{i=1}^n t_i$$

t_i es el tiempo de elaboración del proceso o tarea i
 $i = 1, 2, \dots, n$

$\sum_{i=1}^n t_i$ es el tiempo total de trabajo para el producto



En el ejemplo anterior:

- Tiempo de ciclo deseado $c=60$ segs./unidad
- No. de estaciones de trabajo $k=6$ estaciones
- $kc=60 \times 6=360$ sgs.

$$\sum_{i=1}^n t_i = 40 + 50 + 55 + 55 + 44 + 30 = 274 \text{ segs.}$$

$$TM = 360 - 274 = 86 \text{ segs.}$$



➤ Eficacia del ciclo = $\sum_{i=1}^n t_i / kc \times 100$

$$EC = 274 / 360 \times 100 = 76,11\%$$

Idealmente debe ser 100%

➤ Retraso del balance = $TM / kc \times 100$

$$RB = 86 / 360 \times 100 = 23,89\%$$

Idealmente debe ser 0%



- Minimizar TM es equivalente a minimizar k

$$TM = kc - \sum_{i=1}^n t_i$$

- Si $TM = 0$, entonces,

$$k = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{c}$$



➤ Métodos exactos

- Programación dinámica
- Programación entera
- Teoría de redes

Presentan problemas en cuanto al tamaño del problema a resolver

➤ Métodos heurísticos

Ayudan a dar una respuesta adecuada a problemas de mayor dimensión



Proceso normal de un equilibrado de la línea de ensamblaje

- Calcular el tiempo de ciclo requerido dividiendo el tiempo productivo o disponible diario entre las unidades de demanda diaria (o tasa de producción).
- Calcular el número mínimo teórico de estaciones de trabajo. Esto es, la duración total de las tareas dividida por el tiempo de ciclo.
- Equilibrar la línea, asignando tareas de montaje específicas a cada estación de trabajo.

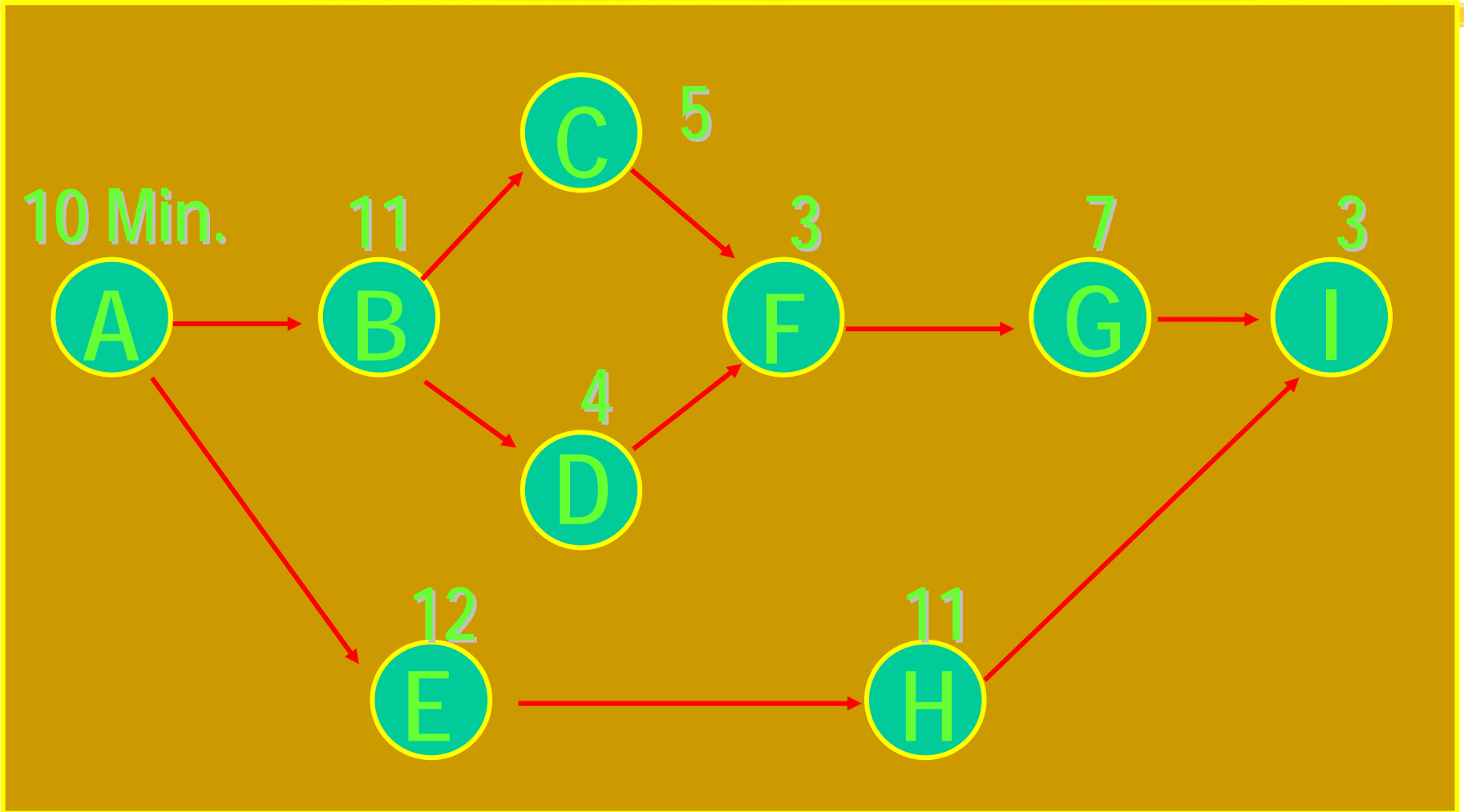


Pasos del equilibrado de la línea de ensamblaje

1. Identificar una lista maestra de tareas.
2. Estimar la secuencia.
3. Dibujar el diagrama de precedencia.
4. Calcular los tiempos de las tareas.
5. Calcular el tiempo del ciclo.
6. Calcular el número de estaciones de trabajo.
7. Asignar las tareas.
8. Calcular la eficacia.
9. Estimar el retraso en el balance (inactividad).



Ejemplo de diagrama de precedencia





Ecuaciones del equilibrado de la línea de ensamblaje

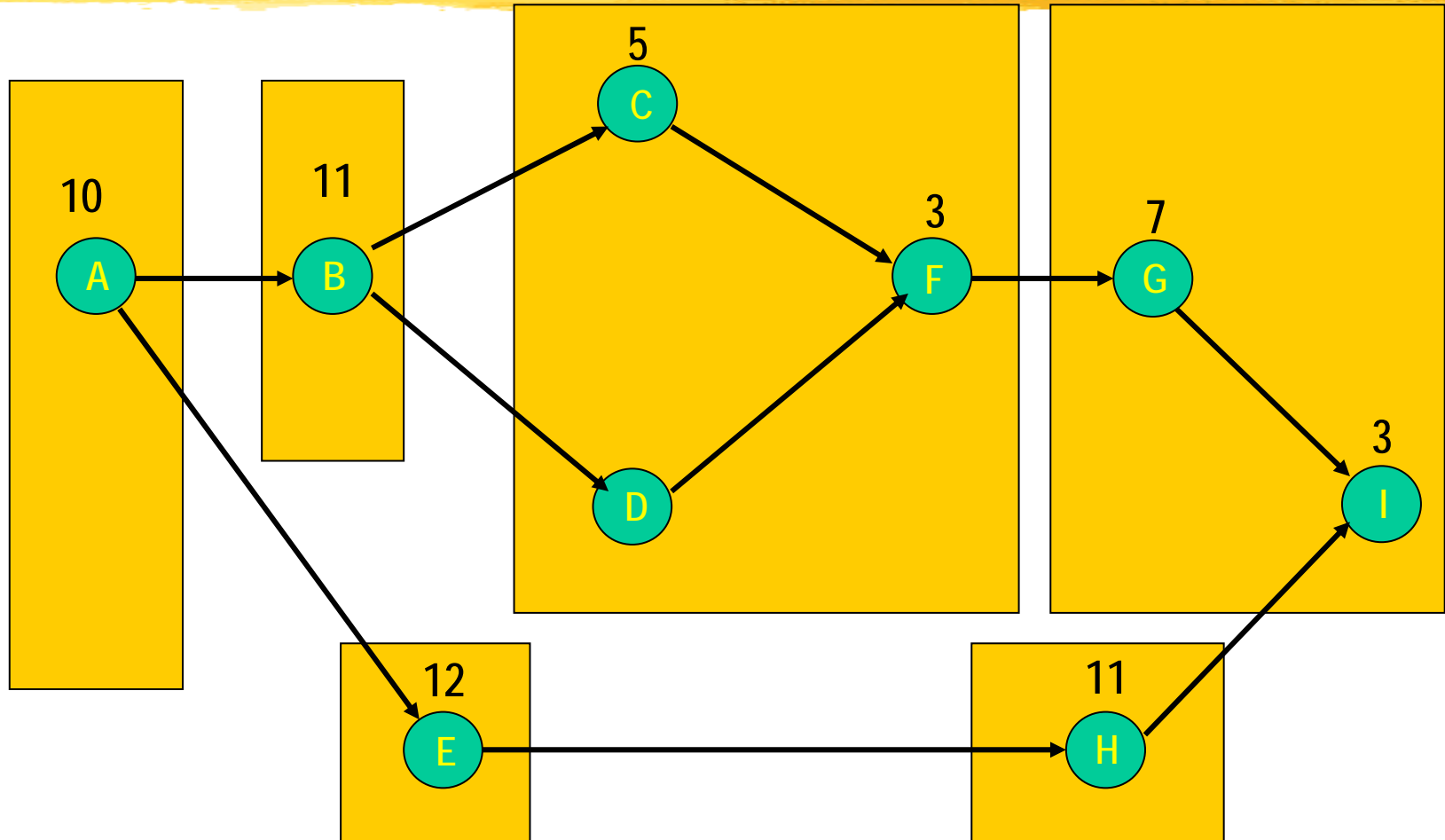
$$\text{Tiempo de ciclo} = \frac{\text{Tiempo de producción disponible}}{\text{Demanda diaria}}$$

$$\text{Número mínimo de estaciones de trabajo} = \frac{\text{Tiempo total de tareas}}{\text{Tiempo de ciclo}}$$

$$\text{Eficacia} = \frac{\Sigma \text{tiempos de tareas}}{(\text{número de estaciones de trabajo}) \times (\text{tiempo ciclo asignado})}$$



Solución en seis estaciones



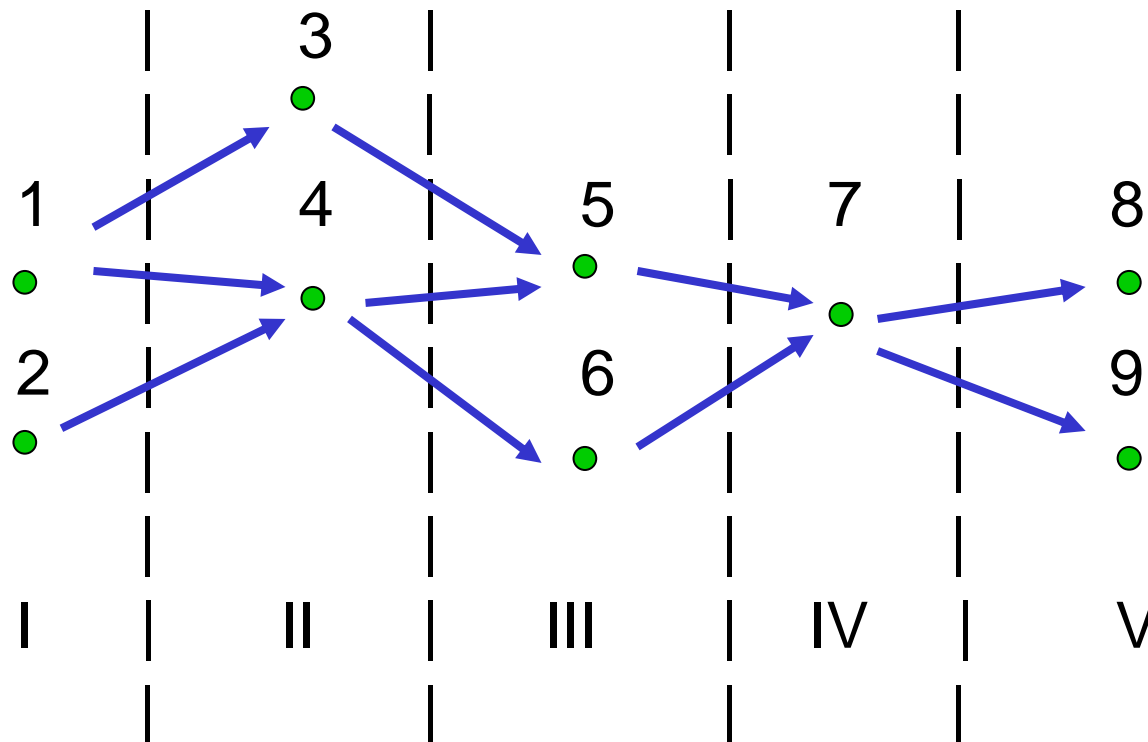


Heurísticas de distribución física que pueden utilizarse para asignar tareas en un equilibrado de línea de ensamblaje

- *Tiempo de tarea más largo.* Elegir la tarea que tenga el tiempo más largo.
- *Más tareas siguientes.* Elegir la tarea que tenga más tareas siguientes.
- *Mayor peso en secuencia.* Elegir la tarea que, sumando los tiempos de las tareas siguientes, tenga mayor peso.
- *Tiempo de tarea más corto.* Elegir la tarea que tenga el tiempo más corto.
- *Menor número de tareas siguientes.* Elegir la tarea que tenga el menor número de tareas siguientes.



- Considere nueve tareas cuya relación de precedencia se ilustra en la figura y se cuantifica en la tabla siguiente:





Tarea **Tiempo de procesamiento (t_i)**

1

5

2

3

3

6

4

8

5

10

← $t_{i(max)}$

6

7

7

1

8

5

9

3

$$\sum_{i=1}^9 t_i = 48$$



- El ciclo c se calcula empíricamente, su valor oscila entre una cota inferior y una cota superior.

$$t_{i(max)} = 10 \leq c \leq 48 = \sum_{i=1}^9 t_i$$

- El número de estaciones de trabajo, debe ser un número entero.

$$k = \frac{\sum_{i=1}^9 t_i}{c}$$



- c puede tomar cuatro valores diferentes de modo que la relación resulte un número entero

$$\sum_{i=1}^9 t_i = 48 = 2^4 \times 3$$

$$c_1 = 2^4 \times 3 = 48$$

$$c_2 = 2^3 \times 3 = 24$$

$$c_3 = 2^2 \times 3 = 12$$

$$c_4 = 2^4 = 16$$

$$k_1 = \frac{\sum_{i=1}^9 t_i}{c_1} = \frac{48}{48} = 1$$

$$k_2 = \frac{\sum_{i=1}^9 t_i}{c_2} = \frac{48}{24} = 2$$

$$k_3 = \frac{\sum_{i=1}^9 t_i}{c_3} = \frac{48}{12} = 4$$

$$k_4 = \frac{\sum_{i=1}^9 t_i}{c_4} = \frac{48}{16} = 3$$

estaciones
de trabajo



Se selecciona el valor de c y con ese valor se construye la siguiente tabla
➤ Seleccionando $c=16$

<i>Orden de precedencia</i>	<i>Tarea</i>	t_i	$\sum_i t_i$ (<i>parcial</i>)	$\sum_i t_i$ (<i>acumulado</i>)
I	1	5		
	2	3	8	8
II	3	6		
	4	8	14	22
III	5	10		
	6	7	17	39
IV	7	1	1	40
V	8	5		
	9	3	8	48



Se asignan tareas a las estaciones de trabajo

- Se asignan trabajos a la estación 1 hasta encontrar en la columna que corresponde a $\sum t_i$ (*acumulado*) la primera fila mayor o igual a $c = 16$ (ocurre en la cuarta fila con un valor de 22 e incluye las relaciones de precedencia I y II).
- Se asignan los procesos del grupo I (que requieren 8 unidades de tiempo) a la estación 1, lo que reduce el valor de $c = 16 - 8 = 8$.
- Se busca en el grupo II si cualquier combinación de procesos proporciona 8 unidades de tiempo. Esto ocurre con el proceso 4. Se asigna el proceso 4 a la estación 1.
- Ahora el valor de c es nulo para la estación 1. No se deben asignar más procesos a esta estación.



Asignación de tareas a la estación 1

➤ Seleccionando $c=16$

<i>Estación k</i>	<i>Orden de precedencia</i>	<i>Tarea</i>	t_i	$\sum_i t_i$ (<i>parcial</i>)	$\sum_i t_i$ (<i>acum.</i>)
	I	1	5		
1		2	3	8	8
	II	4	8	8	16
	II	3	6	6	22
<i>sin</i>	III	5	10		
<i>asignación</i>		6	7	17	39
<i>n</i>	IV	7	1	1	40
	V	8	5		
		9	3	8	48



Se sigue el mismo procedimiento para el resto de las estaciones

- De manera análoga, para la estación 2 se utiliza un ciclo $c = 16$ unidades. Al revisar la tabla, concluimos que el proceso 3 debe asignarse a la estación 2.
- El ciclo se reduce a . Buscando en el grupo III, se concluye que el proceso 5 se puede asignar a la estación 2.
- $c = 0$. No se asignan más procesos a la estación 2.
- Repitiendo el mismo procedimiento, se obtiene que la estación 3 estará integrada por los procesos 6,7,8 y 9.



➤ Asignación de 3 estaciones de trabajo

