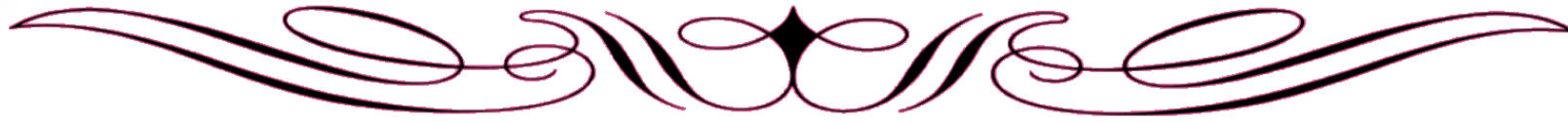


# BALANCEO DE LÍNEA



El pensamiento es el poder creador, la fuerza impulsora que hace que el poder creativo actúe.

Pensar de cierta manera me traerá triunfos, pero no confiaré en el pensamiento solamente, pondré también mi atención a la acción personal.

Esa es la roca sobre la que muchos pensadores y científicos se enfrentan al naufragio: el fracaso de conectar el pensamiento con la acción.

# Objetivos

- Conocer los principios de línea de producción y su balance
- Calcular el número de operadores necesario para que una línea trabaje balanceadamente
- Calcular el número de operadores necesario para una estación de trabajo

- Una línea de producción es un conjunto armonizado de diversos subsistemas, como son neumáticos, hidráulicos, mecánicos, electrónicos, software, etc. Todos estos con una finalidad en común: Transformar o integrar materia prima en otros productos.
- El balanceo de líneas es la asignación de las cargas de trabajo en base a las líneas de producción que se tengan para aprovechar al máximo la mano de obra y la maquinaria.



# BALANCEO DE LÍNEA

- Problema: determinar el número ideal de operadores que se deben asignar a una línea de producción
- La situación de balanceo de línea más elemental es uno en el que varios operadores, cada uno de los cuales lleva a cabo operaciones consecutivas, trabajan como si fueran uno solo.
- En dicha situación, **la velocidad de producción depende del operador más lento**



# Métodos de balanceo

Hay tres métodos de balanceo de línea; el tradicional, el de peso posicional y el heurístico

- **Tradicional**, se balancea dependiendo del tiempo de la estación más tardada, la cual marcará el tiempo mayor de tiempo de ciclo por estación.
- **Peso posicional**, se saca el tiempo posicional de cada operación y se acomodan en orden descendiente de modo que las de mayor tiempo sean las estaciones que se atiendan primero en el reparto de operaciones.
- **Heurístico**, se realiza dependiendo de la cantidad de operadores o de estaciones que se tengan para hacer el balance de esa línea.

# Método tradicional

El método Tradicional, consiste en balancear o crear estaciones de trabajo en base a la operación o actividad más tardada, sin que ninguna otra estación rebase el tiempo de dicha actividad.

Pasos:

1. Realizar el diagrama PERT.
2. Tomar la actividad más tardada.
3. Agrupar las actividades de acuerdo al tiempo de ciclo (en este caso la actividad más tardada).

# Ejemplo 1

Se quieren producir **480** unidades diarias de un producto en nuestras instalaciones, en las que se trabaja **10** horas al día.

Se quiere realizar el balanceo 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.

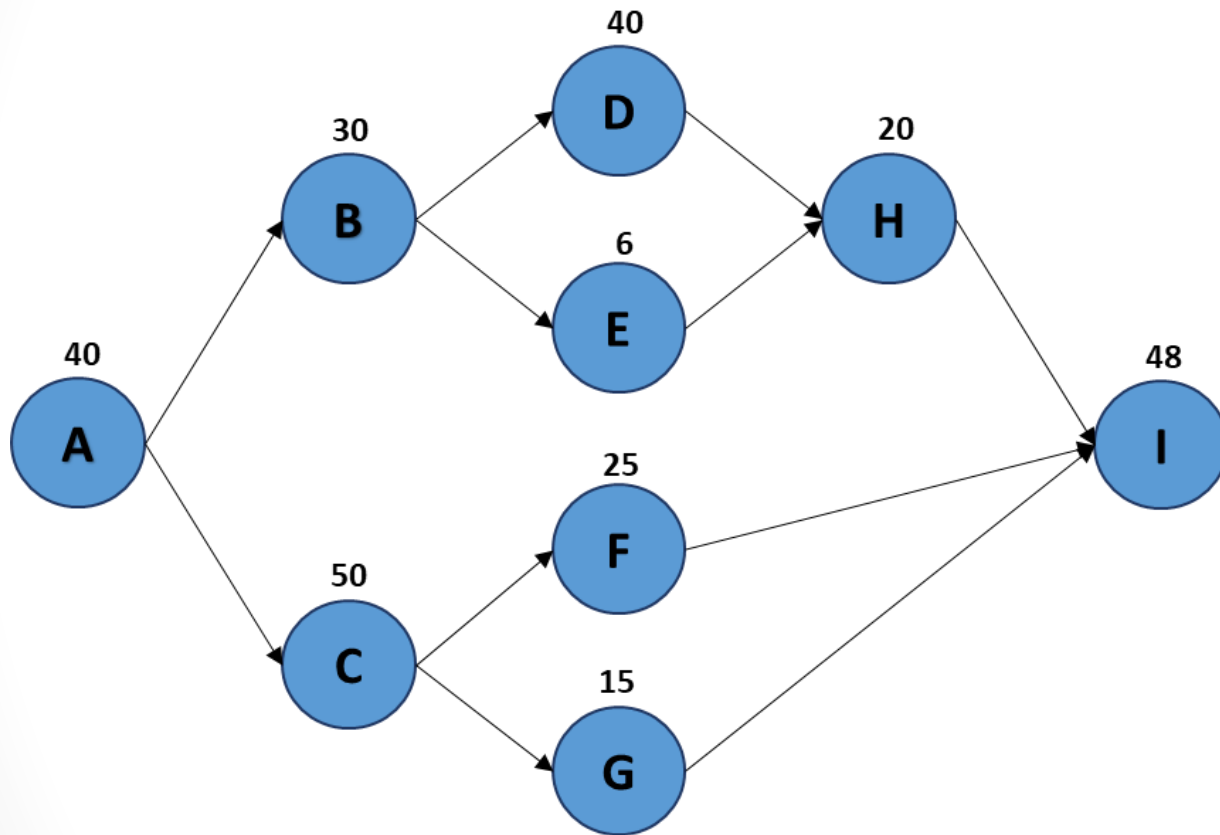
Las tareas que deben realizarse, con su tiempo de realización en segundos.

La precedencia entre tareas es la siguiente

TAREA	TIEMPO DE REALIZACIÓN (s)	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



# Elaboración Pert



TAREA	TIEMPO DE REALIZACIÓN (s)	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

# Determinación del tiempo de ciclo

C = tiempo de producción diaria/producción diaria

$C = 10 \text{ horas} \times 60 \text{ min} \times 60 \text{ s} / 480 \text{ unidades} = 75 \text{ s}$

## Número mínimo de estaciones de trabajo

$N_e = \text{Tiempo de realización de tareas} / \text{tiempo de ciclo}$

$N_e = 274 / 75 = 3.65 \approx 4 \text{ estaciones de trabajo}$

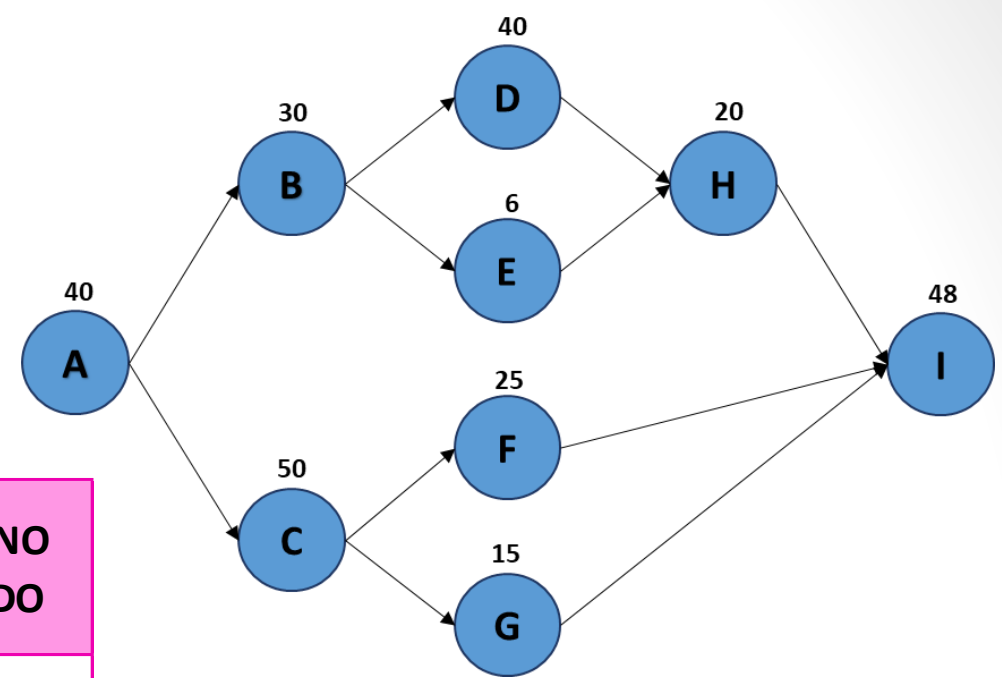
## Asignar tareas

Regla de asignación: asignar la tarea de mayor duración

Una tarea puede ser candidata cuando 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.

TAREA	TIEMPO DE REALIZACIÓN (s)
A	40
B	30
C	50
D	40
E	6
F	25
G	15
H	20
I	48
	274

# Asignar tareas



ESTACION DE TRABAJO	CANDIDATAS	ASIGNADA	TIEMPO	TIEMPO NO ASIGNADO
1	A	A	40	$75 - 40 = 35$
	B, €	B	30	$35 - 30 = 5$
2	C, D, E	C	50	$75 - 50 = 25$
	<del>D</del> , E, F, G	F	25	$25 - 25 = 0$
3	D, E, G	D	40	$75 - 40 = 35$
	E, G	G	15	$35 - 15 = 20$
	E	E	6	$20 - 6 = 14$
4	H	H	20	$75 - 20 = 55$
	I	I	48	$55 - 48 = 7$

# Análisis de la solución

Se necesitan 4 estaciones de trabajo que es el número mínimo  
Hay una distribución desigual del tiempo no asignado  
(Esto se podría mejorar buscando otra regla de asignación)

ESTACION DE TRABAJO	TIEMPO NO ASIGNADO
1	5
2	0
3	14
4	7

$$\text{Eficiencia} = T / (Nr \times C)$$

*Siendo T la suma de tiempos de todas las tareas, Nr el número real de estaciones de trabajo y C el tiempo de ciclo*

$$\text{Eficiencia} = 274 / (4 \times 75) = 0.91 = 91\%$$

Esto implica que se desperdicia 9% del tiempo

# ¿Qué ocurriría si...?

Si los tiempos no asignados en las estaciones fueran los mostrados en el recuadro:

Podemos observar que 5 es el tiempo mínimo que no está asignado en todas las estaciones.

Si se puede reducir el tiempo de ciclo en esos 5 segundos, se tendría un nuevo tiempo de ciclo de 70 segundos

ESTACION DE TRABAJO	TIEMPO NO ASIGNADO
1	5
2	5
3	14
4	7

# Ventajas

ESTACION DE TRABAJO	TIEMPO NO ASIGNADO
1	0
2	0
3	9
4	2

En las estaciones de trabajo el tiempo no asignado baja como se muestra en el recuadro.

## Mayor producción

Producción diaria = Tiempo productivo al día / Tiempo de ciclo

Producción diaria = 10 horas x 60 min x 60 s / 70 s = 514 unidades (en lugar de 480, cerca de un 7% más)

## Menor tiempo de trabajo al día

Tiempo productivo al día = Tiempo de ciclo x Producción diaria esperada

Tiempo productivo al día = 70 x 480 = 33,600 s = 9.33 h en lugar de 10 horas

(ó 70 x 515 = 35,980 s = 9.99 horas , mayor producción con la misma cantidad de tiempo)

## Aumento de la eficiencia

Eficiencia = 274 / (4 x 70) = 0.98 = 98%

# EJEMPLO 2

Tenemos una línea con cinco operadores que ensamblan montajes de hule enlazados antes de entrar al proceso de curado. Las tareas específicas del trabajo podrían ser las siguientes:

- Operador 1, 0.52 minutos
  - Operador 2, 0.48 minutos
  - Operador 3, 0.65 minutos
  - Operador 4, 0.41 minutos
  - Operador 5, 0.55 minutos.
- 
- El operador 3 establece el paso, como lo evidencia lo siguiente:

Operador	Minutos estándar para llevar a cabo la operación	Tiempo de espera con base en el operador más lento	Tiempo estándar (minutos)
1	0.52	0.13	0.65
2	0.48	0.17	0.65
3	0.65	—	0.65
4	0.41	0.24	0.65
5	0.55	0.10	0.65
Totales	2.61		3.25

La eficiencia de esta línea puede calcularse como la relación entre la cantidad de minutos estándar reales y el total de minutos estándar permitidos, es decir

$$E = \frac{\sum_1^5 SM}{\sum_1^5 AM} \times 100 = \frac{2.61}{3.25} \times 100 = 80\%$$

Donde:

E = eficiencia

SM = minutos estándar por operación

AM = minutos estándar permitidos por operación

Algunos analistas prefieren considerar el tiempo ocioso en porcentaje (% ocioso):

$$\% \text{ ocioso} = 100 - E = 20\%$$

En una situación de la vida real similar a este ejemplo, existe la oportunidad de lograr ahorros significativos. Si un analista puede ahorrar 0.10 minutos en el operador 3, los ahorros totales por ciclo no son de 0.10 minutos, sino que son de  $0.10 \times 5$ , esto es, 0.50 minutos.



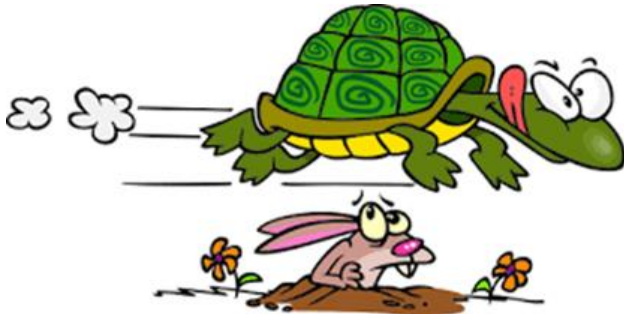
# Algunos hechos interesantes sobre el balanceo de líneas

- Sólo en las situaciones más inusuales podría existir una línea perfectamente balanceada = los minutos estándar para llevar a cabo una operación idénticos para cada miembro del equipo.
- Los “minutos estándar para llevar a cabo una operación” en realidad no es un estándar. Es sólo un estándar para la persona que lo estableció.



El rango de estándares establecidos por diferentes analistas de medición del trabajo en la misma operación puede ser mayor o menor.

El operador mas lento probablemente mejorará el estándar en vista del desempeño de los operadores de la línea con menor contenido de trabajo en sus asignaciones.



Los otros operadores casi nunca están esperando. En lugar de eso, reducen el tiempo de sus movimientos para utilizar el número de minutos estándar establecido por el operador más lento.



- El número de operadores necesarios para fijar la velocidad de producción requerida puede calcularse mediante

$$N = R \times \Sigma AM = R \times \frac{\Sigma SM}{E}$$

donde

N = número de operadores necesarios en la línea

R = velocidad de producción que se desea



# Ejemplo 3

Tenemos un nuevo diseño para el cual deseamos establecer una línea de ensamblado. Están involucradas ocho operaciones que involucran los minutos estándar siguientes con base en datos estándares existentes:

1. 1.25 minutos
  2. 1.38 minutos
  3. 2.58 minutos
  4. 3.84 minutos
  5. 1.27 minutos
  6. 1.29 minutos
  7. 2.48 minutos
  8. 1.28 minutos.
- La línea debe producir 700 unidades diarias (o  $700/480 = 1.458$  unidades/minuto)
  - Debido a que queremos minimizar el almacenamiento, no deseamos producir más de 700 unidades/día.
  - Para planear esta línea de ensamblado con el fin de lograr la configuración más económica, calculamos el número de operadores que se requieren para un nivel de eficiencia determinado (idealmente, 100%), de la manera siguiente:

$$N = 1.458 \times (1.25 + 1.38 + 2.58 + 3.84 + 1.27 + 1.29 + 2.48 + 1.28)/1.00 = 22.4$$

- Para obtener una eficiencia más realista de 95%, el número de operadores debe ser de  $22.4/0.95 = 23.6 \approx 24$  operadores.
- A continuación calculamos el número de operadores que se utilizarán en cada una de las ocho operaciones específicas:

Puesto que se requieren de 700 unidades de trabajo al día, será necesario producir 1 unidad en aproximadamente 0.685 minutos (480/700).

**Calculamos el número de operadores necesarios para cada operación dividiendo el número de minutos permitidos para producir una pieza entre los minutos estándar para cada operación, de la manera siguiente:**

**Operación 1:**  $1.25\text{min}/0.685\text{min} = 1.83 \approx 2$  operarios

Operación	Minutos estándar	Minutos estándar Minutos/unidad	Número de operadores
Operación 1	1.25	1.83	2
Operación 2	1.38	2.02	2
Operación 3	2.58	3.77	4
Operación 4	3.84	5.62	6
Operación 5	1.27	1.86	2
Operación 6	1.29	1.88	2
Operación 7	2.48	3.62	4
Operación 8	1.28	1.87	2
Total	15.37		24

- Para identificar la operación más lenta, dividimos el número estimado de operadores entre los minutos estándar asignados a cada una de las ocho operaciones. Los resultados se muestran en la tabla siguiente.

Operación 1	$1.25/2 = 0.625$
Operación 2	$1.38/2 = 0.690$
Operación 3	$2.58/4 = 0.645$
Operación 4	$3.84/6 = 0.640$
Operación 5	$1.27/2 = 0.635$
Operación 6	$1.29/2 = 0.645$
Operación 7	$2.48/4 = 0.620$
Operación 8	$1.28/2 = 0.640$

- Por lo tanto, la operación 2 determina la salida de la línea. En este caso, ésta es

$$\frac{2 \text{ trabajadores} \times 60 \text{ minutos}}{1.38 \text{ minutos estándar}} = 87 \text{ piezas o } 696 \text{ piezas/día}$$

- Si este ritmo de producción no es adecuado, se necesitará incrementar el ritmo de producción del operador 2, objetivo que puede lograrse mediante
  1. Uno o ambos operarios trabajen en la segunda operación tiempo extra, lo que acumula un pequeño inventario en esta estación de trabajo.
  2. Mediante los servicios de un tercer operador de tiempo parcial en la estación de trabajo de la operación 2.
  3. A través de la reasignación de parte del trabajo de la operación 2 a la operación 1 o a la operación 3. (Sería preferible asignar más trabajo a la operación 1.)
  4. Mejorar el método en la operación 2 para reducir el tiempo del ciclo de esta operación.

- En el ejemplo anterior, dados el tiempo de ciclo y los tiempos de las operaciones, un analista puede determinar el número de operadores necesarios para que cada operación cumpla con un horario de producción deseado.
- El problema de la asignación de trabajo en una línea de producción también puede tener por objetivo:
  - **Minimizar el número de estaciones de trabajo**, dado el tiempo deseado del ciclo
  - Dado el número de estaciones de trabajo, asignar los elementos de trabajo a las estaciones de trabajo, dentro de las restricciones establecidas, con el fin de **minimizar el tiempo del ciclo**.



Una estrategia importante para balancear la línea de ensamblado consiste en compartir los elementos de trabajo.

- Dos o más operadores cuyo ciclo de trabajo incluya tiempo ocioso podrían compartir el trabajo con otra estación, para hacer más eficiente a toda la línea.
- Es necesario observar que compartir los elementos puede dar como resultado un aumento en el manejo del material, puesto que las partes pueden tener que ser entregadas en más de un lugar. Además, este tipo de colaboración puede implicar costos adicionales asociados con la duplicación del herramental.



# EJERCICIO

- En un proceso de ensamblado que involucra seis operaciones distintas, es necesario producir 250 unidades en un día de 8 horas. Los tiempos de operación medidos son los siguientes:
  - a) 7.56 minutos
  - b) 4.25 minutos
  - c) 12.11 minutos
  - d) 1.58 minutos
  - e) 3.72 minutos
  - f) 8.44 minutos
- ¿Cuántos operadores se requerirán para un nivel de eficiencia de 80%? ¿Cuántos operadores se deben utilizar en cada una de las seis operaciones?

Operador	Minutos Estandar para llevar a cabo la operación (SM)
1	7.56
2	4.25
3	12.11
4	1.58
5	3.72
6	8.44
<b>TOTALES</b>	<b>37.66</b>

PRODUCCION META 250

$$R = \frac{250}{480} = 0.5208$$

8 \* 60

$$N = 0.52 \times 37.66 = 19.615$$

$$E85\% = \frac{19.6}{0.85} = 23 \text{ operarios}$$

Minutos por unidad =  $480/250 = 1.92$

Operación	Minutos Estandar (SM)	Minutos Estándar Minutos/unidad	Redondeo al número de operadores
Operación 1	7.56	3.938	4
Operación 2	4.25	2.214	3
Operación 3	12.11	6.307	7
Operación 4	1.58	0.823	1
Operación 5	3.72	1.938	2
Operación 5	8.44	4.396	5
<b>TOTALES</b>	<b>37.66</b>		<b>22</b>

Operación mas lenta = SM / No op.
1.890
1.417
1.730
1.580
1.860
1.688

EN GENERAL:  $\frac{22 \text{ trabajadores} \times 60 \text{ min}}{37.66 \text{ minutos estándar}} = 35.05$  piezas/hora = 280.40 por los 22 trabajadores (hipoteticamente)

ANALIZANDO LA OPERACIÓN MAS LENTA:  $\frac{4 \text{ trabajadores} \times 60 \text{ min}}{7.56 \text{ minutos estándar}} = 31.75$  piezas/hora = 253.97 la operación mas lenta determina la línea de salida (las que en realidad se terminaron)

Podemos constatar que, a pesar que N indicó 23 operarios para una eficiencia pesimista de 85%, se alcanza la producción meta de 250 con 4 operarios en la línea más lenta y un total de 22 operarios.

GRACIAS POR SU ATENCIÓN.