

## Equilibrado de líneas de producción

Cuando se diseña una línea de producción, uno de los aspectos más importantes que se deben tener presentes es el reparto de todas las tareas a realizar, también conocidas como cargas de trabajo, entre los puestos o estaciones de trabajo. Con esta planificación se logrará que todos los recursos disponibles (operarios, máquinas, materiales...) se utilicen de la forma más eficiente y equilibrada posible, evitando "cuellos de botella" o tiempos improductivos.

Este equilibrado se hace necesario tanto en las líneas de fabricación, que construyen componentes en una serie de máquinas, como en las líneas de montaje que ensamblan, en una serie de estaciones de trabajo, las piezas ya fabricadas.

Si quisiésemos definir el equilibrado de líneas de producción podríamos decir que se trata de agrupar las actividades secuenciales de trabajo en estaciones de trabajo, buscando aprovechar al máximo los equipos y los operarios.

Tendremos presente que este tipo de fabricación sólo se podrá adoptar cuando la cantidad de producto a realizar sea muy elevado, de forma que compense el coste de la preparación de la línea.

Seguidamente indicaremos el significado de ciertos términos que debemos conocer:

- Tarea o elemento de trabajo. Es la unidad más pequeña de trabajo y que se puede separar de las demás actividades. El tiempo de las tareas ( $T_i$ ) será el que la máquina automatizada emplee o el que tarde un operario bien entrenado en realizarla.
- Operación. Es el conjunto de elementos de trabajo asignados a un puesto de trabajo.
- Estación de trabajo. Es un grupo de operaciones por las que el material discurre de forma continua con un ritmo uniforme. En ocasiones, para proporcionar la suficiente capacidad de producción, se necesitan varias estaciones idénticas. A esta combinación de estaciones se les llama "Centro de trabajo". Las estaciones de trabajo efectúan simultáneamente tareas pasándose entre ellas el producto en proceso y, lógicamente, ninguna estación pueda pasar el producto hasta que la siguiente haya terminado su proceso.
- Tiempo de ciclo ( $C$ ). Es el tiempo máximo que el producto estará en cada estación de trabajo. Se suele medir en segundos o en minutos.

Con la aplicación de la técnica de equilibrado de cargas en las líneas de fabricación o de montaje, entre otros muchos objetivos, se persigue:

- o Establecer tiempos estándar para cada tarea que se realizará.
- o Evitar "cuellos de botella" o esperas improductivas
- o Analizar y establecer las estaciones o puestos necesarios.
- o Igualar la carga de trabajo en las diferentes estaciones.
- o Lograr un flujo continuo y homogéneo en la línea de producción.
- o Conocer con exactitud el número de unidades que se van a poder producir en cada jornada de trabajo.

Uno de los problemas que nos encontraremos al estudiar el equilibrado de líneas será el de subdividir cada proceso en un determinado número de estaciones de trabajo, ya que deberemos ajustar pormenorizadamente la carga de trabajo en cada estación respecto a un determinado tiempo de ciclo. Es decir, se debe intentar que el tiempo de ciclo de cada estación de trabajo sea el mismo o muy aproximado, con la finalidad de lograr un equilibrio en el flujo del producto. Así evitaremos los mencionados "cuellos de botella", la acumulación de productos semielaborados, el stock de existencias...

Además de intentar que todas las estaciones de trabajo realicen su labor en el mismo tiempo, con ese tiempo se debe poder obtener la producción esperada. Según lo dicho, cuando se nos plantee un problema de equilibrado de líneas diremos que está bien resuelto cuando todas las estaciones se encuentren al 95% de ocupación.



Seguidamente se muestra un ejemplo de un registro sobre el equilibrado de una línea. Ciertamente, podría ser mejorable.

Ediciones EO		RESUMEN EQUILIBRADO		Página 1/1			
Código del equilibrado	Equilibrado 21/03-18	Fecha impresión					
Descripción	Equilibrado reductor H253	Fecha emisión					
Código del proceso	21/03	Realizado por					
Descripción del proceso	Línea 03	Aprobado por					
Información de la línea / célula							
Unidad de tiempo: SEG	Cadencia: 96,86		Producción real / hora: 37,167				
Actividad: 18	T. Concedido: 584,32	Nº Operarios: 10	Tiempo del Proceso: 584,32				
	Saturación de línea: 60,33%	Nº Puestos: 10	Tiempo pieza: 96,86				
Puestos del equilibrado							
Tarea	Código Puesto	Descripción	Cant.	Nº Op.	Tiempo	Prod./hora	Saturación % Puesto
A	21/03-10	Colocación chaveta y Montaje corona	1	1	55,32	65,08	57,11
B	21/03-20	Colocación rodamientos y montaje eje	1	1	56,63	63,57	58,46
C	21/03-30	Montaje tornillo sin fin en eje y rodamientos	1	1	57,24	62,89	59,10
D	21/03-40	Montar retenes, visor y tornillo llenado	1	1	68,56	52,51	70,78
E	21/03-50	Colocación junta tapa y sellado	1	1	96,86	37,17	100
F	21/03-60	Ensamblado parte superior e inferior	1	1	72,56	49,61	74,91
G	21/03-70	Rellenar con aceite	1	1	78,59	45,81	81,14
H	21/03-80	Control final	1	1	76,22	47,23	78,69
I	21/03-90	Embalaje	1	1	14,12	254,95	14,57
J	21/03-100	Embalaje	1	1	8,22	437,96	8,49

Vamos a exponer una secuencia genérica que podremos tener presente para realizar el estudio del equilibrado de una línea de fabricación o montaje.

1. Identificar todas las tareas que componen el proceso productivo. Es decir, determinar las tareas necesarias para fabricar una unidad del producto demandado.
2. Analizar los recursos necesarios para que las tareas se ejecuten eficazmente.
3. Determinar, meticulosamente, el tiempo que se tardará en realizar cada una de las tareas (taladrar un agujero, apretar un tornillo, pintar un objeto...).
4. Analizar y determinar el orden secuencial que deberán tener las sucesivas tareas.
5. Dibujar un diagrama de precedencia. Se trata de un diagrama de flujo donde los círculos representarán las tareas e irán unidas mediante flechas que marcarán las precedencias. Sobre cada círculo se podrá indicar la duración de la tarea (fig. 3).

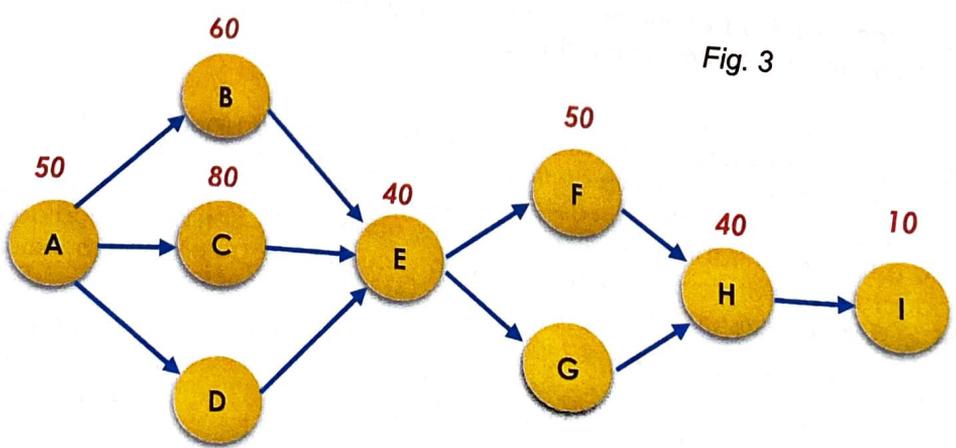


Fig. 3

6. Determinar el tiempo de ciclo necesario (C), que como sabemos será el tiempo máximo que podrá dedicar una estación de trabajo para la fabricación de una unidad. Su cálculo se realiza de la siguiente forma:

$$\text{Tiempo de Ciclo} = C = \frac{\text{Tiempo de producción diaria}}{\text{Producción diaria}}$$

7. Calcular el número mínimo de estaciones de trabajo necesarias (Ne), que será igual al cociente entre el sumatorio del tiempo de todas las tareas y el Tiempo de Ciclo. El resultado se redondeará siempre hacia arriba, es decir, al número entero más próximo al alza.

$$Ne = \frac{\sum \text{Tiempo de todas las tareas}}{\text{Tiempo de Ciclo}} = \frac{\sum T_i}{C} = \frac{T}{C}$$

8. Asignar tareas a las estaciones de trabajo calculadas. Para hacerlo nosotros comentaremos métodos heurísticos, pudiendo decir que la palabra heurística se refiere a estrategias o reglas que vamos a poder emplear. Estos métodos heurísticos facilitan enormemente la planificación del equilibrado, aportando una solución que, aunque no se pueda considerar óptima, da buenos resultados. La simplicidad de su aplicación junto con los buenos resultados obtenidos las hace ideales para aplicarlas en líneas de producción simples. En definitiva, se ordenarán las distintas tareas utilizando uno o varios criterios. Habitualmente se aplica un criterio principal y otro por si fuese necesario el desempate en la selección de tareas.

La estrategia de asignación es la que marcará la diferencia en la configuración final de la línea.

Nosotros daremos unas reglas heurísticas sencillas como pueden ser:

- "Tareas con mayores tiempos". De las tareas disponibles se escogerá la que presente un tiempo mayor. Con este método se logra asignar rápidamente las tareas más difíciles de ajustar dentro de una estación, dejando las de menor tiempo para afinar la solución dada.
- "Mayor número de tareas sucesoras". De las operaciones disponibles se irá eligiendo la que tenga el mayor número de tareas que le siguen.
- "Mayor tiempo de tareas sucesoras". Se irán eligiendo las operaciones cuya suma de tiempos, en las tareas que todavía quedan por hacer, sea mayor.
- "Tareas con menores tiempos". De las tareas disponibles se escogerá la que presente un tiempo menor.
- "Menor número de tareas sucesoras". De las operaciones disponibles se irá eligiendo la que tenga el menor número de tareas que le siguen.

Independientemente de la regla escogida debemos tener presente dos particularidades al elegir la tarea:

- a. Que una tarea podrá ser candidata para ser asignada a una estación cuando **todas** sus tareas precedentes ya hayan sido asignadas.
- b. Que el tiempo de realización de la tarea sea igual o menor al tiempo disponible en la estación de trabajo. Es decir, la suma de los tiempos de todas las tareas asignadas a una estación no podrá ser superior al previamente establecido para dicha estación de trabajo y cuyo valor será igual al tiempo de ciclo calculado. Como sabemos, en este tipo de líneas de producción el sistema progresará a la velocidad de la estación de trabajo más lenta.

En este apartado nos servirá enormemente el diagrama de preferencias que hayamos realizado.

9. Analizar la solución tomada. Si el resultado no fuese bueno se podría intentar mejorar aplicando otra regla de asignación. Finalmente determinaríamos la eficiencia que sería igual a:

$$\text{Eficiencia} = \frac{\sum \text{Tiempo de todas las tareas}}{\text{Nº real de estaciones} \times \text{Tiempo de ciclo}} = \frac{T}{Nr \times C}$$

Podemos decir que habremos conseguido un adecuado equilibrio cuando no existan tiempos de espera entre una estación y otra.

Lógicamente, es fundamental tener una buena planificación del equilibrado de las líneas de fabricación o de montaje con los que se logre alcanzar una productividad, una flexibilidad y una reducción de costes que proporcionarán a la empresa una clara ventaja competitiva.

Si se diese el caso que en todas las estaciones de trabajo hubiese segundos no asignados nos fijaríamos en el menor valor y esos serían los segundos en que podríamos reducir el tiempo de ciclo. Es decir, recalcularíamos el tiempo del ciclo restándole el valor antes comentado. Esto supondría ciertas ventajas, ya que en todas las estaciones de trabajo el tiempo va a disminuir, ajustándolo convenientemente. Debido a ese ahorro la producción diaria se vería incrementada, por lo que se podría producir más o reducir los tiempos de trabajo al día para seguir obteniendo las mismas unidades. En definitiva, estaríamos consiguiendo mayor eficiencia al tener menor tiempo no asignado en todas las estaciones.

Para aclarar todos los conceptos expuestos realizaremos un ejemplo sencillo:

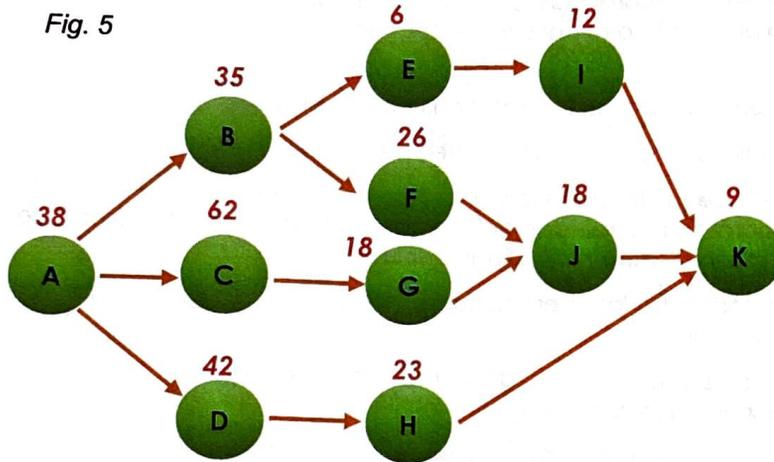
Imaginemos que se deben fabricar 360 unidades de un producto "P" por cada jornada laboral (8 horas). Como regla principal se irán tomando las tareas de mayor duración ("Tareas con mayores tiempos").

Ya se han estudiado las tareas a realizar y el tiempo que conllevará desarrollar cada una. En la siguiente tabla 4 se indican todas ellas, mostrando también sus tareas precedentes.

Tendremos que equilibrar la línea y determinar la eficiencia del estudio realizado.

Seguidamente indicaremos todos los pasos seguidos para resolver la situación propuesta:

- 1) Realizaremos el diagrama de precedencias asociado (fig. 5):



Tarea	Tiempo realización (s)	Tareas precedentes
A	38	--
B	35	A
C	62	A
D	42	A
E	6	B
F	26	B
G	18	C
H	23	D
I	12	E
J	18	F,G
K	9	I,J,H
$\Sigma$	289 segundos	

- 2) Determinamos el tiempo de ciclo necesario. Para ello comenzamos indicando el tiempo de producción diaria (8 horas) en segundos (8x3600). Seguidamente calculamos el tiempo de ciclo:

$$\text{Tiempo de Ciclo} = C = \frac{\text{Tiempo de producción diaria}}{\text{Producción diaria}} = \frac{8 \times 3600}{360} = \frac{28800s}{360 \text{ unidades}} = 80 \text{ s/ud}$$

- 3) En función del tiempo de ciclo "C" se determina el número mínimo de estaciones de trabajo necesarias, siendo igual a:  $N_e = \frac{\Sigma \text{Tiempo de todas las tareas}}{\text{Tiempo de Ciclo}} = \frac{\Sigma T_i}{C} = \frac{T}{C} = \frac{289s}{80s/ud} = 3,61 \Rightarrow 4 \text{ estaciones}$

- 4) Llega el momento de asignar las tareas. Para ello estableceremos una regla principal, que será la de la tarea con mayor duración. En función de esta regla se irán asignando las tareas, una a una, a las estaciones de trabajo.

Debemos recordar que una tarea podrá ser candidata cuando todas sus tareas precedentes ya hayan sido asignadas y su tiempo de realización sea igual o menor que el tiempo no asignado a la estación de trabajo. Para realizar esta labor nos basaremos en el diagrama de precedencia, pues nos será de mucha utilidad.

Sabemos que cada estación de trabajo dispone de un tiempo de ciclo de 80 segundos. Teniendo presente este valor y el orden del diagrama de precedencias (fig. 5) iremos realizando la asignación de tareas de las tareas candidatas comenzaremos eligiendo la que presente mayor tiempo, que como vemos en el gráfico sería la "C" con 62 segundos (fig. 5), pero al presentar un tiempo superior a los 42 segundos disponibles para la estación de trabajo 1 debemos desechar esta opción. En consecuencia, podremos asignar a esta estación la tarea "D", ya que justamente tardará 42 segundos, completando y optimizando perfectamente la WS1 (tabla 6 y fig. 7).

Tabla 6

Estación (WS)	Tareas	$\Sigma$ Tiempo tareas asignadas	Tiempo disponible	Tareas candidatas
1	A	38	42	B, C, D
	D	42	0	

Fig. 7

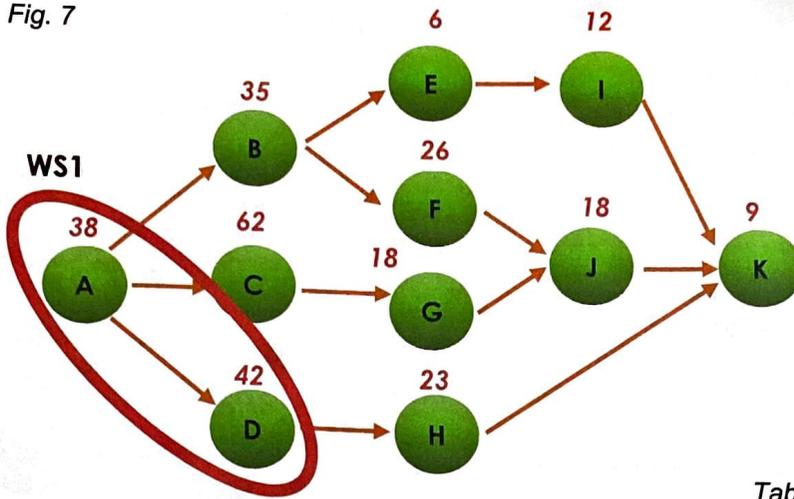


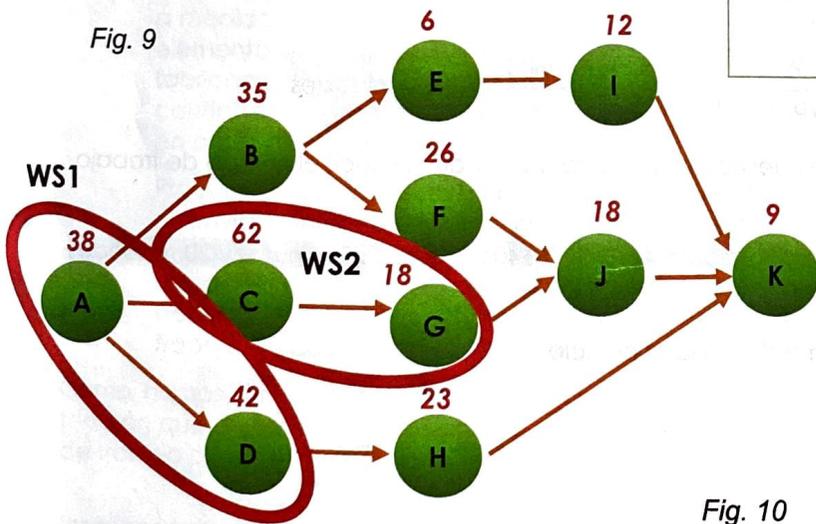
Tabla 8

Estación (WS)	Tareas	$\sum$ Tiempo tareas asignadas	Tiempo disponible	Tareas candidatas
1	A	38	42	B, C, D
	D	42	0	B, C, H
2	C	62	18	B, G, H
	G	18	0	B, H
3	B	35	45	E, F, H
	F	26	19	E, J, H
4	J	18	1	E, H
	H	23	57	E, K
	K	9	48	E
	E	6	42	I
	I	12	30	

Ahora debemos abrir una nueva estación de trabajo "WS2". Como tareas candidatas, siguiendo el flujo, tendremos la "B", la "C" y la "H". Elegiremos la "C" por la regla principal adoptada de la tarea con mayor duración. Vemos que nos queda un tiempo disponible de 18 segundos y que las tareas candidatas sería "B, G y H". Observamos que la única que nos serviría es la G que presenta un tiempo de 18 segundos, logrando completar perfectamente la estación de trabajo 2 (tabla 8 y fig. 9).

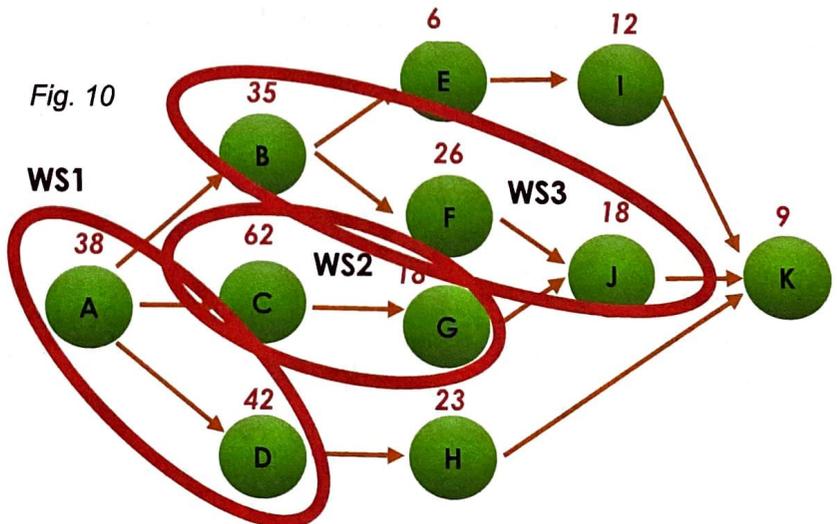
Continuamos abriendo otra estación de trabajo "WS3" y asignándole, de las tareas candidatas que presenta (B y H) la de mayor carga de tiempo, es decir la "B" = 35s.

Fig. 9



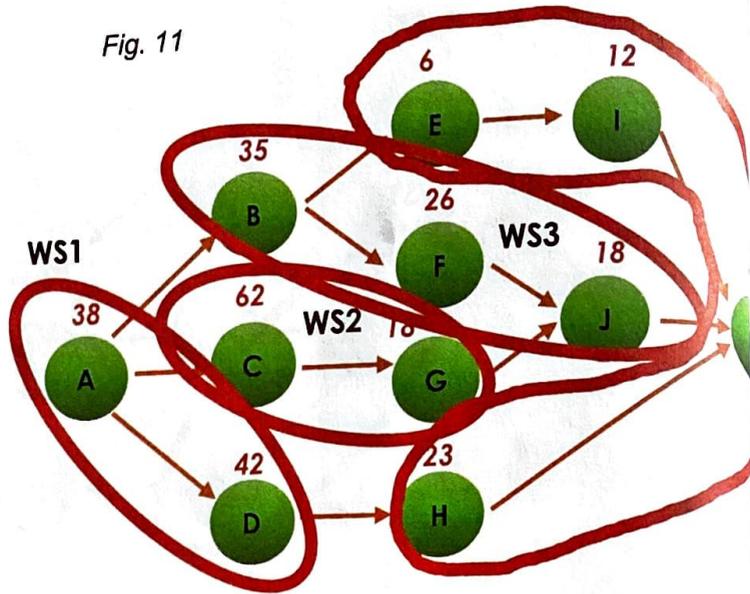
Vemos que todavía tenemos disponibles 45 segundos y como posibles tareas candidatas las E, F y H. La que presenta un tiempo de ejecución mayor es la "F", con 26 segundos, por lo que la asignamos a esta estación y todavía nos sobran 19 segundos. Ahora las tareas candidatas serían la E, J y H, observando que sólo nos serviría la "J" pues ocupa un tiempo de 18 segundos y nosotros disponemos de 19s (tabla 8 y fig. 10).

Fig. 10



Llega el momento de abrir una nueva estación de trabajo "WS4". Las tareas candidatas son E y H, eligiendo "H" al ser la de mayor tiempo. Al restarle los 80 segundos del tiempo del ciclo todavía nos permite asignar operaciones con un tiempo máximo de 57s. Las tareas candidatas serían la E y la K. Asignamos la "K" (9s) por la regla ya comentada y nos quedarían 48s para asignar. Solo podemos optar por la tarea "E" (6s) ya que obligatoriamente debemos elegirla, quedándonos 42 segundos, suficientes para la tarea "I" (12s).

Fig. 11



Observamos que la última estación es la que se encuentra más descompensada (fig. 11).

Ya tendremos todas las tareas asignadas.

- 5) Ahora realizaremos un análisis de la situación, viendo que necesitamos 4 estaciones de trabajo que son las mínimas que se habían determinado.

El tiempo asignado es bastante uniforme, excepto en la última estación donde sobran 30 segundos. Este inconveniente se podría intentar mejorar aplicando otra regla de asignación.

Finalmente determinaremos la eficiencia, siendo igual a:

$$\text{Eficiencia} = \frac{\sum \text{Tiempo de todas las tareas}}{\text{N}^\circ \text{ real de estaciones} \times \text{Tiempo de ciclo}} = \frac{T}{N \times C} = \frac{289}{4 \times 80} = 0,903 \Rightarrow 90,3\%$$

Tabla 12

WS	Tiempo no asignado
1	6
2	7
3	8
4	9

Estamos hablando que tenemos una eficiencia de aproximadamente el 90%, lo que implica que estaríamos perdiendo un 10% del tiempo empleado.

Si pudiésemos repartir los 30 segundos de la última estación entre las otras tres y, por ejemplo, tener una distribución como la indicada en la tabla 12, observamos que en todas las estaciones hay tiempo no asignado, siendo 6 segundos el mínimo. Por lo tanto, se podría reducir el tiempo de ciclo en esos 6 segundos, teniendo un nuevo tiempo de ciclo de C=74s.

Esto implicaría una serie de beneficios, ya que el tiempo no asignado en las estaciones de trabajo sería menor, presentando la primera estación 0 segundos desperdiciados, la segunda 1 segundo, la tercera 2 segundos y la cuarta 3 segundos. Vemos que todo estaría mucho más ajustado, traduciéndose en una mayor producción, ya que podríamos decir que sería igual a:

$$\text{Producción diaria} = \frac{\text{Tiempo de producción diaria}}{\text{Tiempo de ciclo}} = \frac{8 \times 3600}{74} = 389,19 \text{ unidades}$$

Como vemos se fabricarían casi 30 piezas más que nuestro propósito, lo que podría reducir el tiempo de trabajo necesario:

$$\text{Tiempo productivo diario} = \text{Tiempo de ciclo} \times \text{Producción diaria} = 74 \times 360 = 26640s = 7 \text{ horas, } 23 \text{ minutos y } 20 \text{ segundos}$$

Finalmente diríamos que también implicaría un aumento de la eficiencia.