

# Diseño de puestos de trabajo simples. Diagramas hombre-máquina y cálculo de la capacidad y de la productividad.

## **Eduardo Vicens-Salort**

Catedrático de Universidad  
Grupo de Análisis y Mejora de la Productividad  
Centro de Investigación de Gestión e Ingeniería de la Producción (CIGIP)  
Universitat Politècnica de Valencia  
[evicens@cigip.upv.es](mailto:evicens@cigip.upv.es)

## **Carlos Andrés Romano**

Profesor Titular de Universidad  
Grupo en Reingeniería, Organización, Trabajo en Grupo y Logística Industrial  
Departamento de Organización de Empresas  
Universitat Politècnica de Valencia  
[candres@omp.upv.es](mailto:candres@omp.upv.es)

## **Cristobal Miralles Insa**

Profesor Titular de Universidad  
Grupo en Reingeniería, Organización, Trabajo en Grupo y Logística Industrial  
Departamento de Organización de Empresas  
Universitat Politècnica de Valencia  
[cmiralles@omp.upv.es](mailto:cmiralles@omp.upv.es)

Octubre, 2010

**Palabras clave:** Ciclo de Trabajo, Tiempo de Ciclo, Capacidad de Producción, Cantidad de Trabajo, Demora de Proceso, Demora Inherente, Tiempo Tipo, Work Standard, Productividad, Eficiencia, Utilización de los Recursos, Máquinas en Paralelo, Máquinas en Serie.

## **Índice:**

1. Introducción
2. Ciclo de trabajo o de operaciones.
3. Puesto de trabajo simple. Asignación mono-máquina determinista.
  - 3.1. Diagrama hombre-máquina.
  - 3.2. Tiempo de ciclo y capacidad.
4. Recursos en la fabricación.
  - 4.1. Trabajo de los recursos humanos. Demoras e ineficiencias.
    - 4.1.1. Cantidad de Trabajo
    - 4.1.2. Demora de proceso.
    - 4.1.3. Demora inherente o de balance.
    - 4.1.4. Tiempo Tipo o Work Standard.
    - 4.1.5. Productividad y eficiencia de la mano de obra.
  - 4.2. Cantidad de otros tipos de recursos. Utilización.
5. Casos simples de puestos de trabajo.
  - 5.1. Caso 1: Máquina individual.
  - 5.2. Caso 2: Máquinas iguales en paralelo.
  - 5.3. Caso 3: Máquinas en serie.
  - 5.4. Caso 4: Máquinas diferentes en paralelo.
6. Generalización del cálculo de capacidades y parámetros.
7. Bibliografía.

## 1. Introducción

Mediante el Estudio de Métodos se establece el MÉTODO de fabricación del producto, pieza, servicio, etc., es decir la forma en la que se ejecutan las operaciones y/o tareas para obtener el producto. Incluso se pueden plantear, mediante las diferentes técnicas conocidas (Principios de Economía de Movimientos, Técnicas SMED, PokaYoke, etc.), diversas Mejoras del Método establecido.

Con las Técnicas de MEDICIÓN del trabajo (Estudio de Tiempos, Sistemas de Tiempo Predeterminados, Muestreo de Actividades), se es capaz de establecer el tiempo necesario para realizar los diferentes productos, piezas y/o servicios.

En esta publicación se pretende definir las características básicas (y los conceptos relacionados con ellas) a tener en cuenta en el diseño de los puestos de trabajo donde se realizan las diferentes operaciones según el MÉTODO establecido y en las que se invierte una cantidad de recursos que se han MEDIDO, todo ello para lo que se ha calificado como Puesto de Trabajo Simple (en una posterior publicación se tratará de la extensión de estos conceptos a los puestos de trabajo que se denominarán complejos).

En una primera parte se exponen dichas características, las relacionadas con el ciclo de operación y las relacionadas con el consumo de recursos. En una segunda parte, y a través de 4 casos de estudio, se establece como calcularlas para los puestos de trabajo simples y, como extensión, en un sistema de fabricación de una pieza.

## 2. Ciclo de trabajo o de operaciones.

Se definen los siguientes conceptos de un sistema de fabricación:

- **Ciclo de trabajo:** Es la sucesión de elementos u operaciones elementales necesarios para efectuar una tarea u obtener una o varias unidades de producción, y que realizan los operarios y las máquinas en un puesto de trabajo. Comprende a veces elementos casuales.
- **Elementos u operaciones de una tarea:** es la parte delimitada de una tarea definida que se selecciona para facilitar la observación, medición y análisis.
- **Puesto de trabajo:** Es una parte de un sistema de fabricación, constituida por personas, máquinas, robots, sistemas de almacenamiento, etc., en la que se realizan una o varias tareas sobre los productos o bienes que se elaboran en el sistema de fabricación.

En cada puesto de trabajo se puede distinguir entre trabajos u operaciones realizadas por las personas u operarios (elementos manuales) y trabajos u operaciones realizados automáticamente por las máquinas u otros recursos tecnológicos (elementos mecánicos).

### 3. Puesto de trabajo simple. Asignación mono-máquina determinista.

Se define el **puesto de trabajo simple** como aquel en el que se realiza **una tarea** para obtener **un producto** por parte de **un operario** y con ayuda de **una máquina**. Considérese que el tiempo necesario para la realización de los elementos de la tarea se ha definido utilizando las correspondientes técnicas de medición del trabajo y que éste está definido determinísticamente; es decir se consideran tiempos que no están sujetos a variabilidad ni incertidumbre. En ese contexto se definen:

- El conjunto de elementos que realiza un operario con la máquina parada. **MP** será el tiempo necesario para realizar esos elementos.
- El conjunto de elementos que realiza el operario mientras la máquina realiza su ciclo automático (máquina en marcha). **MM** será el tiempo necesario para realizar esos elementos.
- Elementos mecánicos o Ciclo automático de la máquina. **TM** será el tiempo necesario para realizar esos elementos.

#### 3.1. Diagrama hombre-máquina.

Se puede realizar la representación gráfica del funcionamiento del puesto de trabajo utilizando una escala común de tiempos (en abcisas) y de cada una de las actividades que realizan los recursos (operarios, máquinas o equipos) que intervienen en ese puesto de trabajo, representado el funcionamiento o no de cada recurso a lo largo del tiempo, con el objeto de mostrar la correlación entre ellas. Es un diagrama de actividades múltiples aplicado a los recursos que operan: el operario y la máquina. Estas representaciones gráficas las denominaremos **diagramas hombre-máquina**.

Para el puesto de trabajo simple, tendremos:

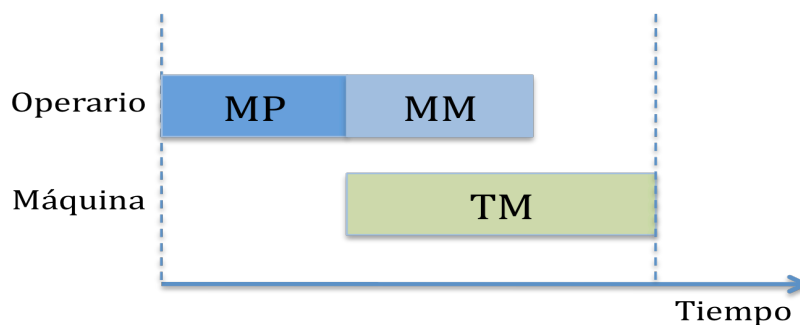


Figura 1. Diagrama hombre-máquina

#### 3.2. Tiempo de ciclo y capacidad

En un puesto de trabajo se define:

- **TC:** Tiempo de Ciclo o tiempo que tarda un puesto de trabajo en producir una pieza (min/pieza)

- **Cap:** Capacidad de producción o número de piezas que una estación o puesto de trabajo es capaz de producir por unidad de tiempo (piezas/min)

$$TC = \frac{1}{Cap}$$

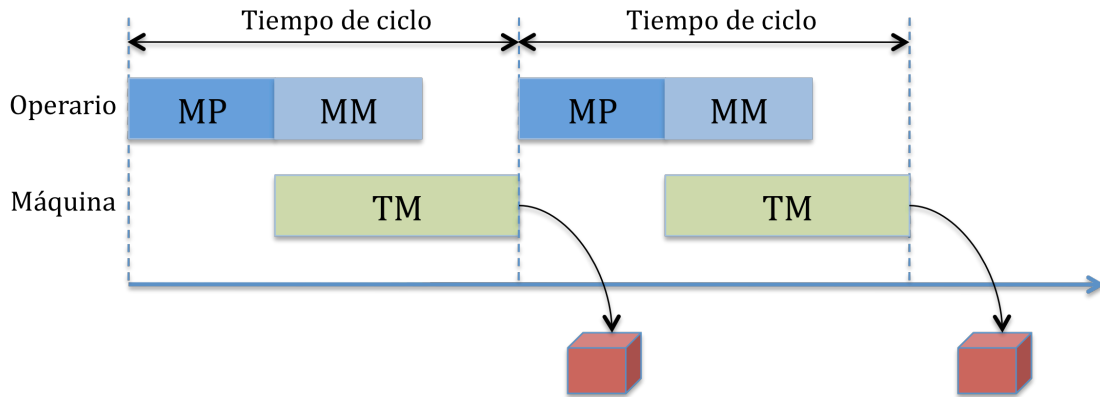


Fig. 2. Tiempo de ciclo.

Como se observa en la figura 2, y para el caso del puesto de trabajo simple:

$$TC = MP + TM$$

Igualmente, en un puesto de trabajo simple, el tiempo necesario para llevar a cabo el ciclo de trabajo coincide con el tiempo de ciclo.

#### 4. Recursos de fabricación.

Para la fabricación de la pieza, en el caso del puesto de trabajo simple, se están utilizando dos recursos, el Operario y la Máquina. La unidad de medida de la **cantidad del recurso operario** que se utiliza para la fabricación de la pieza es el **minuto-hombre/pieza** (min.h/p). La unidad de medida de la **cantidad del recurso máquina** que se utiliza en la fabricación de la pieza es el **minuto-máquina/pieza** (min.m/p).

##### 4.1. Trabajo de los Recursos Humanos. Demoras e ineficiencias.

Con carácter general, se hablará de **TRABAJO** de las personas cuando nos referimos al tiempo utilizado por ellas para realizar las tareas, es decir, a la cantidad de recurso humano que se utiliza en la fabricación de los productos.

Dentro de cada ciclo de trabajo, los operarios que están fabricando la pieza podrán estar realizando diferentes elementos de la tarea o estar en espera para realizarlos. En ese contexto, se definen las cantidades del recurso persona siguientes:

#### 4.1.1. Cantidad de trabajo

- **QT:** Cantidad de Trabajo o tiempo que utiliza el operario añadiendo valor al producto, medido en min.h/pieza. Es tiempo durante el cual el operario realiza acciones concretas sobre el producto, bien cuando la máquina está parada o bien cuando está en funcionamiento.

$$QT = MP + MM$$

#### 4.1.2. Demora de Proceso

- **DP:** Demora de Proceso o tiempo que espera el operario a que la máquina finalice su ciclo automático, medido en min.h/pieza. Es tiempo del operario en el cual no se añade ningún valor al producto; es un tiempo improductivo y, por lo tanto, es ineficiencia del sistema de fabricación. En un puesto de trabajo simple:

$$DP = TM - MM$$

#### 4.1.3. Demora Inherente

- **DI:** Demora Inherente o tiempo que debe esperar el operario en el puesto de trabajo a que le llegue la pieza desde otro puesto de trabajo o a que pueda pasar la pieza a otro puesto de trabajo, medido en min.h/pieza. Igualmente es un tiempo del operario en el cual no se añade ningún valor al producto; es un tiempo improductivo y una ineficiencia del sistema de fabricación. En un puesto de trabajo simple:

$$DI = TC - (MP + TM)$$

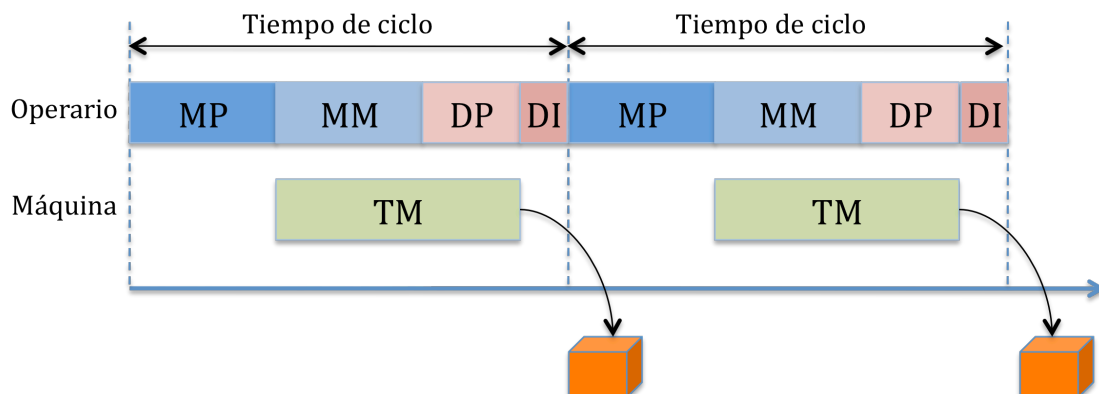


Figura 3. Cantidad de trabajo y demoras

#### 4.1.4. Tiempo Tipo o Work Standard

Así pues se define el:

- **WS:** Work Standard, Tiempo Estándar o Tiempo Tipo como los minutos hombre (cantidad de recurso) necesarios para obtener una pieza, medidos en min-h/pieza.

$$WS = QT + DP + DI$$

Como se observa en la figura 3, en el caso del puesto de trabajo simple, en una escala de tiempos, se verifica que el numeral del TC coincide con el numeral del WS, pero esto no quiere decir que el tiempo de ciclo sea el work standard, ya que por definición son dos conceptos distintos: el primero se mide en minutos por unidad, el segundo en minutos – hombre por unidad.

#### 4.1.5. Productividad y eficiencia de la mano de obra

Se definen pues:

- **P:** La **Productividad** de la mano de obra como las piezas por unidad de recurso humano (piezas/minutos-hombre)<sup>1</sup>

$$P = \frac{1}{WS}$$

- **E:** La **Eficiencia** de la mano de obra o porcentaje del tiempo de persona utilizado eficazmente (%)<sup>2</sup>

$$E = \frac{QT}{WS}$$

#### 4.2. Cantidad de otros tipos de recursos. Utilización.

De la misma forma que con los recursos humanos, para cualquier otro tipo de recurso (como la máquina) se pueden definir, además del TM, los siguientes:

---

<sup>1</sup> Obsérvese que el concepto de productividad se basa en el concepto de estándar de trabajo y, consecuentemente, hay un incremento de productividad cuando hay una disminución del estándar de trabajo. Esto desecha las supuestas técnicas de incremento de productividad basadas en sistemas de incentivo a la producción realizada, por cuanto éstas se basan en un incremento del ritmo de trabajo del operario y no en una disminución real del estándar de trabajo.

<sup>2</sup> Este concepto viene a representar lo que también se conoce como Saturación del Operario, que se estudiará con más detalle en otros capítulos.

- **DM:** Demora de máquina o tiempo que espera la máquina a que el operario u otro recurso finalice su trabajo, medido en min.maq/pieza. Es tiempo de máquina en el cual no se añade ningún valor al producto; es un tiempo improductivo y, por lo tanto, es ineficiencia del sistema de fabricación.
- **DIM:** Demora Inherente de la máquina o tiempo que debe esperar la máquina en el puesto de trabajo a que le llegue la pieza desde otro puesto de trabajo o a que pueda pasar la pieza a otro puesto de trabajo, medido en min.maq/pieza. Igualmente es un tiempo en el cual no se añade ningún valor al producto; es un tiempo improductivo y una ineficiencia del sistema de fabricación.
- **Pm:** Productividad de la máquina o piezas por unidad de recurso máquina (piezas/minutos-máquina).
- **U:** Utilización de la máquina o porcentaje del tiempo de recurso utilizado eficazmente (%).

$$U = \frac{TM}{TC}$$

Como se observa de nuevo en la figura 3, en el caso del puesto de trabajo simple, en una escala de tiempos, se verifica que el numeral del TC coincide con el numeral del TM + DM+ DIM, pero esto no quiere decir que el tiempo de ciclo sea la cantidad de recurso máquina que se consume, ya que por definición son dos conceptos distintos: el primero se mide en minutos por unidad, el segundo en minutos – máquina por unidad.

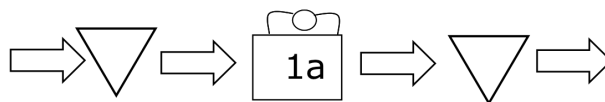
## 5. Casos simples de puestos de trabajo

### 5.1. Caso 1: Máquina individual

Considérese el puesto de trabajo definido por un operario que maneja una máquina, de forma que el método de trabajo establece, para el procesado de una pieza, que el operario toma el material de un almacén de entrada, lo procesa con ayuda de la máquina, y deposita la pieza en un almacén de salida, como se observa en la figura 4.

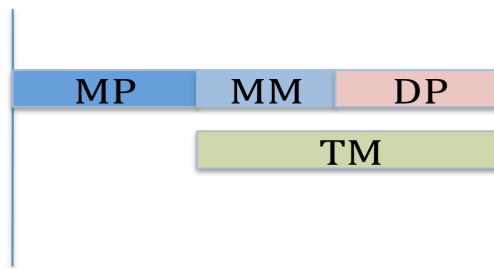
Los tiempos establecidos son:

$$MP_a = 8 \text{ min.h/p}, MM_a = 5 \text{ min.h/p}, TM_a = 12 \text{ min.m/p}$$



*Figura 4. Caso 1: Máquina individual*

El diagrama hombre-máquina del caso es el que se muestra a continuación:



Y los parámetros del puesto de trabajo son los siguientes:

$$TC = MP + TM = 8 + 12 = 20 \text{ min/pieza}$$

$$Cap = \frac{1}{TC} = \frac{1}{20} = 0,05 \text{ piezas/min} = 3 \text{ piezas/hora}$$

$$QT = MP + MM = 8 + 5 = 13 \text{ min h / pieza}$$

$$DP = TM - MM = 12 - 5 = 7 \text{ min h / pieza}$$

$$WS = QT + DP + DI = 13 + 7 = 20 \text{ min h / pieza}$$

$$P = \frac{1}{WS} = 3 \text{ piezas/hora.h}$$

$$E = \frac{CT}{WS} = \frac{13}{20} = 0.65 = 65\%$$

$$U = \frac{TM}{TC} = \frac{12}{20} = 0.6 = 60\%$$

## 5.2. Caso 2: Máquinas iguales en paralelo.

Considérense el puesto de trabajo definido por dos operarios que manejan una máquina idéntica cada uno de ellos, de forma que el método de trabajo, para el procesado de una pieza, establece que cada operario toma el material de un almacén de entrada, lo procesa con ayuda de la máquina, y deposita la pieza en un almacén de salida, como se observa en la figura 5.

Los tiempos establecidos en cada una de las máquinas son:

$$MP_a = 8 \text{ min.h/p}, MM_a = 5 \text{ min.h/p}, TM_a = 12 \text{ min.m/p}$$



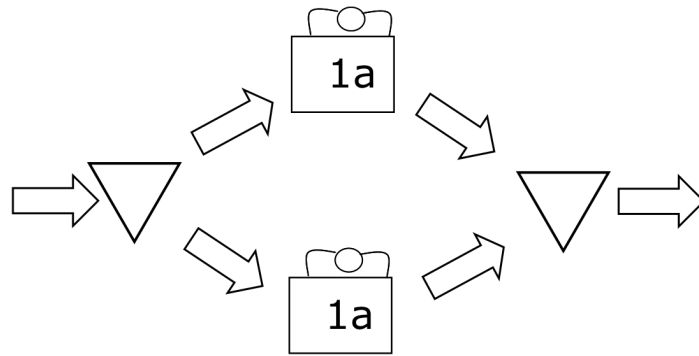
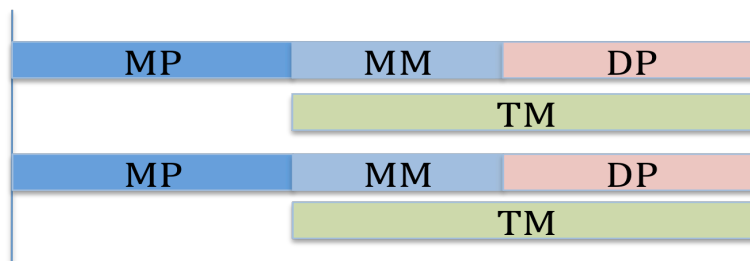


Figura 5. Caso 2: Máquinas iguales en paralelo

El diagrama hombre-máquina del caso es el que se muestra a continuación:



Y los parámetros del puesto de trabajo son los siguientes:

$$TC = \frac{20 \text{ min}}{2 \text{ piezas}} = 10 \text{ min/pieza}$$

$$Cap = \frac{1}{TC} = \frac{1}{10} = 0,10 \text{ piezas/min} = 6 \text{ piezas/hora}$$

$$QT = \frac{QT1 + QT2}{N^{\circ} \text{ piezas}} = \frac{8 + 5 + 8 + 5}{2} = 13 \text{ min.h/pieza}$$

$$DP = \frac{DP1 + DP2}{N^{\circ} \text{ piezas}} = \frac{7 + 7}{2} = 7 \text{ min.h/pieza}$$

$$WS = QT + DP + DI = 13 + 7 = 20 \text{ min.h/pieza}$$

Donde 'Nº piezas' es el número de piezas que se producen en ciclo de trabajo.

Y como se observa en los valores, la capacidad se ha duplicado y el tiempo de ciclo se ha reducido a la mitad, pero la cantidad de recurso humano requerido para fabricar una pieza continúa siendo el mismo. No ha habido incremento de la productividad de la mano de obra. Igualmente sucede con el recurso máquinas.

$$P = \frac{1}{WS} = 3 \text{ piezas/hora}$$

$$E = \frac{QT}{WS} = \frac{13}{20} = 0.65 = 65\%$$

$$U = \frac{TM}{TC} = \frac{12}{20} = 0.6 = 60\%$$

### 5.3. Caso 3: Máquinas en serie.

Considérense el puesto de trabajo definido por dos operarios que manejan una máquina cada uno de ellos, de forma que el método de trabajo, para la fabricación de una pieza, establece que el operario primero toma el material de un almacén de entrada, lo procesa con ayuda de la máquina, y lo deposita en su almacén de salida y de entrada del segundo operario, este segundo operario lo toma de ese almacén, lo procesa con ayuda de la segunda máquina, y deposita la pieza en el almacén final, como se observa en la figura 6.

Los tiempos establecidos en cada una de las máquinas son:

$$MP_a = 8 \text{ min.h/p}, MM_a = 5 \text{ min.h/p}, TM_a = 12 \text{ min.m/p}$$

$$MP_b = 9 \text{ min.h/p}, MM_b = 5 \text{ min.h/p}, TM_b = 16 \text{ min.m/p}$$

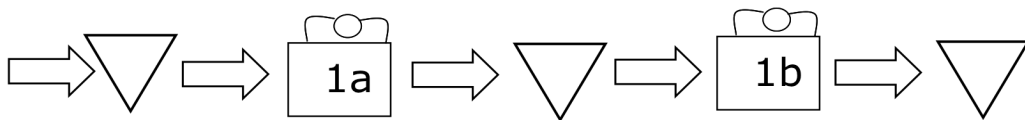
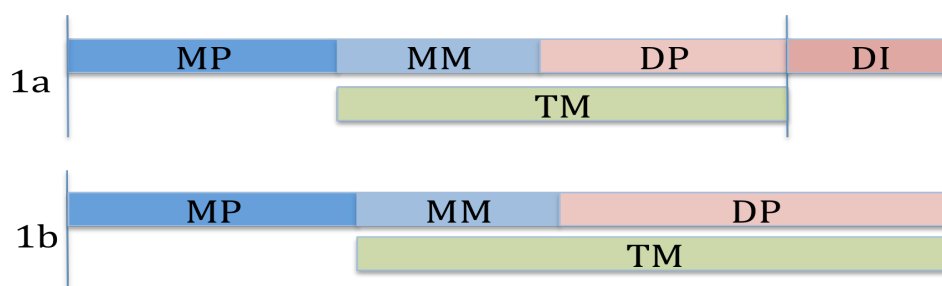


Figura 6. Caso 3: Máquinas en serie

El diagrama hombre-máquina del caso es el que se muestra a continuación:



Y los parámetros del puesto de trabajo son los que se calculan a continuación.

En cuanto a los tiempos de ciclo y a la capacidad de producción:

$$TC_a = 8 + 12 = 20 \text{ min/pieza}$$

$$Cap_a = \frac{1}{TC_a} = \frac{1}{20} = 3 \text{ piezas/hora}$$

$$TC_b = 9 + 16 = 25 \text{ min/pieza}$$

$$Cap_b = \frac{1}{TC_b} = \frac{1}{25} = 2,4 \text{ piezas/hora}$$

$$TC = \max_i TC_i = TC_b = 25 \text{ min/pieza}$$

*puesto(b) ⇒ cuellodebotella*

$$Cap = \min_i Cap_i = Cap_b = 2,4 \text{ piezas/hora}$$

En un sistema productivo, con **puestos de trabajo en serie**, en el sentido de que el flujo de materiales va desde un puesto de trabajo previo a uno siguiente, al **puesto con mayor tiempo de ciclo** se le denominará el **cuello de botella**, y es este puesto de trabajo el que **limita la capacidad de producción del sistema**.

En cuanto al recurso Mano de Obra (recurso persona) tendremos:

- En cada puesto individual:

$$QT_a = 8 + 5 = 13 \text{ min h/pieza}$$

$$DP_a = 12 - 5 = 7 \text{ min h/pieza}$$

$$DI_a = TC - TC_a = 25 - 20 = 5 \text{ min h/pieza}$$

$$WS_a = QT_a + DP_a + DI_a = 25 \text{ min h/pieza}$$

$$QT_b = 9 + 5 = 14 \text{ min h/pieza}$$

$$DP_b = 16 - 5 = 11 \text{ min h/pieza}$$

$$DI_b = TC - TC_b = 25 - 25 = 0 \text{ min h/pieza}$$

$$WS_b = QT_b + DP_b + DI_b = 25 \text{ min h/pieza}$$

- En el puesto de trabajo en serie del caso:

$$QT = \frac{QT_a + QT_b}{N^\circ \text{ piezas}} = \frac{13 + 14}{1} = 27 \text{ min h/pieza}$$

$$DP = \frac{DP_a + DP_b}{N^\circ \text{ piezas}} = \frac{7 + 11}{1} = 18 \text{ min h/pieza}$$

$$DI = \frac{DI_a + DI_b}{N^\circ \text{ piezas}} = \frac{5 + 0}{1} = 5 \text{ min h/pieza}$$

$$WS = QT + DP + DI = 27 + 18 + 5 = 50 \text{ min h/pieza}$$

Así pues, la productividad y eficiencia de la mano de obra y la utilización de las máquinas, en el puesto de trabajo en serie, será:

$$P = \frac{1}{WS} = \frac{60}{50} = 1.2 \text{ piezas/hora}$$

$$E = \frac{QT}{WS} = \frac{27}{50} = 0.54 = 54\%$$

$$U = \frac{TM_a + TM_b}{2 \times TC} = \frac{12 + 16}{50} = 0.56 = 56\%$$

#### 5.4. Caso 4: Máquinas diferentes en paralelo.

Considérense el puesto de trabajo definido por dos operarios que manejan una máquina cada uno de ellos, de forma que el método de trabajo, para la fabricación de una pieza, establece que el operario primero toma el material del almacén de entrada, lo procesa con ayuda de la primera máquina y deposita la pieza en el almacén de salida, y que el segundo operario toma el material del almacén de entrada, lo procesa con ayuda de la segunda máquina y deposita la pieza en el almacén de salida, como se observa en la figura 7.

Los tiempos establecidos en cada una de las máquinas son:

$$MP_a = 8 \text{ min.h/p}, MM_a = 5 \text{ min.h/p}, TM_a = 12 \text{ min.m/p}$$

$$MP_b = 9 \text{ min.h/p}, MM_b = 5 \text{ min.h/p}, TM_b = 16 \text{ min.m/p}$$

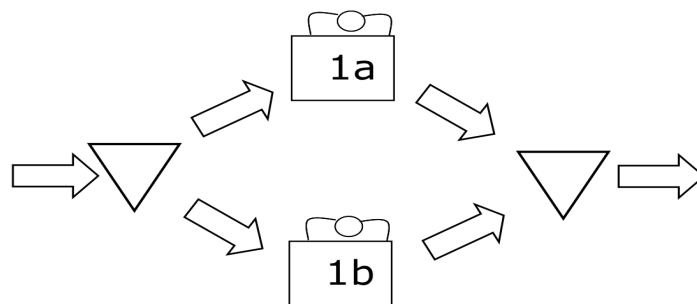


Figura 7. Caso 4: Máquinas diferentes en paralelo

El diagrama hombre-máquina del caso es el que se muestra a continuación:



Y los parámetros del puesto de trabajo agregado son los que se calculan a continuación.

En cuanto a los tiempos de ciclo y a la capacidad de producción:

$$TC_a = 8 + 12 = 20 \text{ min/ pieza}$$

$$Cap_a = \frac{1}{TC_a} = \frac{1}{20} = 3 \text{ piezas/hora}$$

$$TC_b = 9 + 16 = 25 \text{ min/ pieza}$$

$$Cap_b = \frac{1}{TC_b} = \frac{1}{25} = 2,4 \text{ piezas/hora}$$

$$Cap = \sum_i Cap_i = 0,05 + 0,04 = 0,09 \text{ piezas/min} = 5,4 \text{ piezas/hora}$$

$$\frac{1}{TC} = \sum_i \frac{1}{TC_i} \Rightarrow TC = \frac{1}{0,09} = 11,11 \text{ min/ pieza}$$

En un sistema productivo, con **puestos de trabajo diferentes en paralelo**, la **capacidad de producción es la suma de las capacidades de cada puesto de trabajo**, o lo que es lo mismo, el inverso del tiempo de ciclo, es la suma de los inversos de los tiempos de ciclo de cada puesto de trabajo.

En cuanto al recurso Mano de Obra tendremos:

- En cada puesto individual:

$$QT_a = 8 + 5 = 13 \text{ min h/ pieza}$$

$$DP_a = 12 - 5 = 7 \text{ min h/ pieza}$$

$$DI_a = 0 \text{ min h/ pieza}$$

$$WS_a = QT_a + DP_a + DI_a = 20 \text{ min h/ pieza}$$

$$QT_b = 9 + 5 = 14 \text{ min h/ pieza}$$

$$DP_b = 16 - 5 = 11 \text{ min h/ pieza}$$

$$DI_b = 0 \text{ min h/ pieza}$$

$$WS_b = QT_b + DP_b + DI_b = 25 \text{ min h/ pieza}$$

- Y en el puesto de trabajo agregado:

$$\begin{aligned}
QT &= \frac{QT_a \times Cap_a + QT_b \times Cap_b}{Cap} = \frac{13 \times 0,05 + 14 \times 0,04}{0,09} = \\
&= 13,444 \text{ min } h / \text{pieza} \\
DP &= \frac{DP_a \times Cap_a + DP_b \times Cap_b}{Cap} = \frac{7 \times 0,05 + 11 \times 0,04}{0,09} = \\
&= 8,778 \text{ min } h / \text{pieza} \\
DI &= 0 \text{ min } h / \text{pieza} \\
WS &= QT + DP + DI = 13,444 + 8,778 + 0 = \\
&22,222 \text{ min } h / \text{pieza}
\end{aligned}$$

- La productividad de la mano de obra, su efectividad y la utilización en el puesto agregado serán:

$$\begin{aligned}
P &= \frac{1}{WS} = \frac{60}{22,22} = 2,70 \text{ piezas/hora } h \\
E &= \frac{QT}{WS} = \frac{13,444}{22,22} = 0,605 = 60,5\% \\
TM &= \frac{TM_a \times Cap_a + TM_b \times Cap_b}{Cap} = \\
&= \frac{12 \times 0,05 + 16 \times 0,04}{0,09} = 13,78 \text{ min } m / \text{pieza} \\
U &= \frac{TM}{N^\circ \text{ Maq} \times TC} = \frac{13,78}{2 \times 11,11} = \frac{13,78}{22,22} = 0,62 = 62\%
\end{aligned}$$

## 6. Generalización del cálculo de capacidades y parámetros.

De lo visto anteriormente, en el diseño de los puestos de trabajo en los sistemas de fabricación, se establece que existen dos grupos de parámetros que hay que definir:

- Los que hacen referencia a la capacidad de producción a conseguir (o su inverso que es el tiempo de ciclo)
- Y los que hacen referencia al consumo de los recursos involucrados (en el caso de la mano de obra: el WS con sus componentes QT, DP y DI; en el caso de máquinas: el TM y otras demoras) y por lo tanto a la productividad de éstos.

Se puede modelar el sistema de fabricación de una pieza a partir del modelado de los puestos de trabajo que lo constituyen, y, desde el punto de vista del análisis y mejora de la productividad del sistema, caracterizar cada uno de los puestos por el conjunto de parámetros que se ha establecido (Cap, TC, WS, QT, DP, DI, P, E, U).

E igualmente se puede caracterizar el sistema global a partir de los mismos parámetros definiéndolos por agregación de los de los puestos de trabajo que los componen.

Un sistema de fabricación de una pieza está compuesto por un conjunto de puestos de trabajo conectados entre sí en serie y en paralelo. Siempre es posible agregar, dos a dos, los puestos de trabajo para llegar a definir los parámetros del puesto de trabajo global. Y por extensión, establecer los parámetros globales del sistema de fabricación (entendiéndolo como un único puesto de trabajo).

### 6.1. Agregación de puestos de trabajo en paralelo.

Dos puestos de trabajo (a y b) que fabrican una misma pieza y que trabajan en paralelo se pueden agregar en un único puesto de trabajo cuyos parámetros se calcularán de la forma que sigue:

- Tiempos de ciclo y capacidad de producción:

$$TC_a, Cap_a = \frac{1}{TC_a}, TC_b, Cap_b = \frac{1}{TC_b}$$

$$Cap = \sum_i Cap_i$$

$$\frac{1}{TC} = \sum_i \frac{1}{TC_i}$$

- Consumo de recursos (mano de obra y máquinas):

$$QT = \frac{QT_a \times Cap_a + QT_b \times Cap_b}{Cap}$$

$$DP = \frac{DP_a \times Cap_a + DP_b \times Cap_b}{Cap}$$

$$DI = \frac{DI_a \times Cap_a + DI_b \times Cap_b}{Cap}$$

$$WS = QT + DP + DI$$

$$TM = \frac{TM_a \times Cap_a + TM_b \times Cap_b}{Cap}$$

- Productividad, Eficiencia y Utilización

$$P = \frac{1}{WS}$$

$$E = \frac{QT}{WS}$$

$$U = \frac{TM}{N^{\circ} Maq \times TC}$$

En un sistema productivo, con **dos puestos de trabajo diferentes en paralelo**,

- **La capacidad de producción es la suma de las capacidades de cada puesto de trabajo** (el inverso del tiempo de ciclo es la suma de los inversos de los tiempos de ciclo de cada puesto de trabajo).
- El **consumo de los recursos** se determina **ponderando** el consumo de recursos de cada puesto de trabajo **con las capacidades de producción** de cada puesto

En el caso de ser las máquinas iguales, que tienen la misma capacidad:

$$QT = \frac{QT_a \times Cap_a + QT_b \times Cap_b}{Cap} =$$

$$= \frac{(QT_a + QT_b) \times Cap}{2 \times Cap} = \frac{QT_a + QT_b}{2} =$$

$$= QT_a = QT_b$$

## 6.2. Agregación de puestos de trabajo en serie.

Dos puestos de trabajo que fabrican una misma pieza y que trabajan en serie se pueden agregar en un único puesto de trabajo cuyos parámetros se calcularán de la forma que sigue:

- Tiempos de ciclo y capacidad de producción:

$$TC_a, Cap_a = \frac{1}{TC_a}, TC_b, Cap_b = \frac{1}{TC_b}$$

$$TC = \max_i TC_i$$

$$Cap = \min_i Cap_i$$

*Cuellodebotella*

- Consumo de recursos (mano de obra y máquinas):

Si el cuello de botella es b,



$$QT = \frac{QT_a + QT_b}{N^\circ \text{ piezas}}$$

$$DP = \frac{DP_a + DP_b}{N^\circ \text{ piezas}}$$

$$DI = \frac{DI_a + TC - TC_a + DI_b}{N^\circ \text{ piezas}}$$

$$WS = QT + DP + DI$$

- Productividad, Eficiencia y Utilización

$$P = \frac{1}{WS}$$

$$E = \frac{QT}{WS}$$

$$U = \frac{TM}{N^\circ \text{ Maq} \times TC}$$

En un sistema productivo, con **dos puestos de trabajo en serie**,

- El **puesto con mayor tiempo de ciclo** se denomina el **cuello de botella**, y es este puesto de trabajo el que **limita la capacidad de producción del sistema**. El tiempo de ciclo del sistema es el del mayor de ellos.
- Se produce un **tiempo improductivo** en aquellos puestos de trabajo cuyo tiempo de ciclo es menor que el tiempo de ciclo del sistema, tanto de la mano de obra (demora inherente) como de los otros tipos de recurso (máquinas, sistemas de transporte, etc.).
- El **consumo de recursos** se determina **sumando** el consumo de los recursos en cada puesto y añadiendo la demora inherente producida por el desbalance causado por la diferencia de tiempos de ciclo.

### 6.3. Conclusiones: Formas de incrementar la productividad.

Así pues, es importante que en el diseño de los puestos de trabajo se identifiquen tanto los parámetros de Capacidad y Tiempo de Ciclo, como los de Consumo de los diferentes Recursos que se utilizan. Ahora bien, en estos últimos, hay que identificar su composición; es decir, diferenciar las cantidades que aportan valor al producto de aquellas que no aportan, y entre éstas, aquellas cantidades de recurso improductivo debido al diseño del trabajo en el puesto (forma de trabajar o método de trabajo), que dan lugar a las demoras de proceso, de aquellas cantidades de recurso improductivo debido al desequilibrio de tiempo de ciclo entre los puestos de trabajo que dan lugar a las demoras inherentes.

Se puede incrementar la productividad eliminando los elementos que no aportan valor al producto. Es decir:

- Para reducir las Demoras de Proceso se puede asignar más trabajo a los operarios que las tienen, bien manejando otras máquinas, bien realizando otras tareas en otros puestos, etc.
- Para reducir las Demoras Inherentes, hay que equilibrar al máximo los puestos de trabajo, en algunos casos incluso incrementando tiempos de ciclo.

Sin embargo, para disminuir los valores de los elementos que si aportan valor al producto (QT, TM) hay que utilizar las diferentes TECNOLOGÍAS, bien para conseguir que alguno de estos elementos resulte innecesario o bien para que su duración sea menor.

## **7. Bibliografía**

- Industrial Engineering Training Courses. Planta de Ford España. Almusafes. 1985.
- Introducción al Estudio del Trabajo. Oficina Internacional del Trabajo. Ginebra. 1983. ISBN 92-2-301939-7.
- Manual de Ingeniería de la Producción Industrial (Industrial Engineering Handbook). H.B. Maynard, Editor. Editorial Reverté, SA. Barcelona. 1975. ISBN 84-291-2670-8.
- Handbook of Industrial Engineering. Vol. 2: Performance Improvement Management; Management, Planning, Design, and Control. G. Salvendy, Editor. John Wiley & Sons, Inc. New York. 2001. ISBN 978-0-470-24182-0.
- Ingeniería Industrial. Métodos, Tiempos y Movimientos. B.W. Niebel. Ediciones Alfaomega, SA. México. 1990. ISBN 968-6223-26-6.
- La producción: Planificación, organización y control. S. Eilon. Editorial Labor, SA. Barcelona. 1976. ISBN 84-335-6560-5.
- Conceptos de organización industrial. A. Alonso García. Colección Productiva. Marcombo, SA. Barcelona. 1998. ISBN 84-267-1139-1.
- Fabricación libre de despilfarro: Ruta rápida para la reconversión de fábricas. J.W. Davis. TGP Hoshin. Madrid. 2003. ISBN 84-95605-06-8.
- La meta: un proceso de mejora continua. E.M. Goldratt, J. Cox. Ediciones Díaz de Santos, SA. Madrid. 1993. ISBN 84-7978-095-9.
- Diseño de células de fabricación: Transformación de las fábricas para la producción en flujo. K. Sekine. Productivity Press. TGP. Madrid. 1993. ISBN 84-87022-03-0.