

# Estudio de Trabajo

## Lectura 9

# Estudio de Métodos Diagrama Hombre-Máquina

**Profesor:**

Ricardo Caballero, M.Sc.

✉ [ricardo.caballero@utp.ac.pa](mailto:ricardo.caballero@utp.ac.pa)



# Diagrama hombre-máquina

- Representación gráfica de la secuencia de elementos que componen las operaciones en que intervienen hombres y máquinas
- Muestra la relación de tiempo exacta entre el ciclo de trabajo de la persona y ciclo de operación de la máquina
- Se utiliza para estudiar, analizar y mejorar una estación de trabajo a la vez
- Permite conocer el tiempo empleado por operadores y utilizado por la máquina.
- La práctica de hacer que un empleado maneje más de una máquina se conoce como **acoplamiento de máquinas**.



# Pasos

Seleccionar la  
operación

Determinar inicio y  
terminación del ciclo

Identificar y dividir la  
operación en elementos

Medir la duración  
de cada elemento

Construir el  
diagrama



# Construcción del diagrama

DIAGRAMA HOMBRE - MAQUINA															
Hoja N°			De:			Diagrama N°:			Proceso:			Metodo:			
Fecha: DD/MM/AA				Elaborado por:				Maquina 1:				Maquina 3:			
El estudio Inicia:				Operario:				Maquina 2:							
Operario				Máquina 1				Máquina 2				Máquina 3			
	Carga	Tiempo	Actividad	Carga	Tiempo	Actividad	Carga	Tiempo	Actividad	Carga	Tiempo	Actividad	Carga	Tiempo	Actividad
1															
2															
3															
4															
5															
6															
7															
8															
9															
10															

# Algunos conceptos

---

*Ciclo total del operador = preparar + hacer + retirar*

*Ciclo total de la máquina = preparar + hacer + retirar*

*Tiempo improductivo del operador = ocio, el operador no hace nada*

*Tiempo productivo de la máquina = máquina realiza el proceso/hacer*

*Tiempo improductivo de la máquina = está en espera*

$$\text{Porcentaje de utilización del operador} = \frac{\text{tiempo productivo del operador}}{\text{tiempo del ciclo total}}$$

$$\text{Porcentaje de utilización de la máquina} = \frac{\text{tiempo productivo de la máquina}}{\text{tiempo del ciclo total}}$$

## Algunos conceptos

---

- **Tiempo normal:** tiempo que se requiere para que un operario estándar realice una operación cuando trabaja a ritmo estándar, sin demoras por razones personales o circunstancias inevitables

$$\textit{Tiempo normal} = \textit{tiempo ciclo} \times \% \textit{ de valoración}$$

- **Tiempo estándar:** valor en unidades de tiempo para realizar una tarea determinada con la aplicación correcta de las técnicas de medición del trabajo por personal calificado

$$\textit{Tiempo estandar} = \textit{tiempo normal} \times (1 + \% \textit{ suplemento})$$

- **Tiempo ocioso:** tiempo en el que una máquina o un operario está desocupado o no trabaja
- **Tiempo de servicio:** tiempo total que un operario interactúa directamente con una máquina; puede incluir carga, descarga, mantenimiento, etc
- **Tiempo de máquina disponible:** parte de un ciclo durante el cual una máquina puede realizar trabajo útil.

# Utilización del diagrama hombre - máquina

El diagrama de relaciones hombre-máquina se emplea como instrumento de análisis para eliminar los costos ocultos en la operación de un sistema productivo que presenta múltiples actividades

Número	Casos de análisis	Variantes
1	Análisis de la relación de tiempos de trabajo que ocurre de forma simultánea entre un operador y un equipo o máquina semiautomática o automática.	<ul style="list-style-type: none"><li>· La actividad realizada es simple y cíclica.</li><li>· La actividad es cíclica, pero con relativa frecuencia se presentan algunos subciclos durante su realización.</li><li>· La actividad presenta variación de un ciclo a otro de trabajo.</li><li>· No se cuenta con un ciclo o patrón definido en la realización de la actividad de trabajo.</li></ul>
2	Análisis de la relación de tiempos de trabajo que ocurre de forma simultánea entre un grupo de trabajadores y un equipo o máquina semiautomática o automática.	
3	Análisis de la relación de tiempos de trabajo que ocurre de forma simultánea entre un operador y un grupo de equipos o máquinas.	
4	Análisis de la relación de tiempos de trabajo que ocurre de forma simultánea entre una cuadrilla de trabajadores y un grupo de equipos o máquinas.	

# Preguntas guía para la evaluación del diagrama hombre - máquina

Diagrama	Para qué se emplea	Preguntas para realizar evaluación
Diagrama de relación de hombre-máquina	<ul style="list-style-type: none"> <li>Definir la mejor forma en que un operario puede llevar a cabo múltiples actividades manuales (polivalencia).</li> <li>Definir la mejor forma en que un operario puede llevar a cabo múltiples actividades en diferentes equipos o máquinas (polivalencia).</li> <li>Eliminar los tiempos improductivos de operarios y equipos o maquinaria.</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Una operación puede eliminarse:               <ol style="list-style-type: none"> <li>Por innecesaria.</li> <li>Mediante una modificación en la secuencia de trabajo.</li> <li>Cambiando el herramental o equipo.</li> <li>Modificando la distribución de la estación de trabajo.</li> <li>Combinando los herramientas actuales.</li> <li>Modificando ligeramente los materiales empleados.</li> <li>Modificando ligeramente el diseño o especificaciones del producto o servicio.</li> <li>Modificando la secuencia del proceso.</li> <li>Utilizando un clamp de sujeción.</li> </ol> </li> </ol>
		<ol style="list-style-type: none"> <li>Un movimiento puede eliminarse:               <ol style="list-style-type: none"> <li>Por innecesario.</li> <li>Mediante una modificación en la secuencia de trabajo.</li> <li>Combinando los herramientas actuales.</li> <li>Cambiando el herramental o equipo.</li> <li>Empleando dispositivos que permitan que, por gravedad, el material acabado se almacene en un contenedor.</li> </ol> </li> </ol>
		<ol style="list-style-type: none"> <li>La actividad de sujetar puede eliminarse:               <ol style="list-style-type: none"> <li>Por innecesaria.</li> <li>Mediante el uso de un dispositivo de sujeción o fijación de piezas.</li> </ol> </li> </ol>
		<ol style="list-style-type: none"> <li>Las demoras pueden eliminarse o reducirse:               <ol style="list-style-type: none"> <li>Por innecesarias.</li> <li>Cambiando al miembro del cuerpo que realiza el trabajo.</li> <li>Realizando un balance del trabajo que realizan los miembros del cuerpo.</li> <li>Realizando el trabajo simultáneamente en dos ítems.</li> <li>Alterando el trabajo, de modo que cada mano realice el mismo trabajo, pero desfasadamente.</li> </ol> </li> </ol>
		<ol style="list-style-type: none"> <li>¿Pueden ser eliminadas operaciones de conteo o de inspección? ¿Son realmente necesarias? ¿Qué sucede si se las realiza ya contando con la información obtenida?               <ol style="list-style-type: none"> <li>Se lleva a cabo duplicidad de actividades de este tipo.</li> <li>Podría ser realizada por otra persona esta actividad.</li> </ol> </li> </ol>

Diagrama	Para qué se emplea	Preguntas para realizar evaluación
Diagrama de relación de hombre-máquina	<ul style="list-style-type: none"> <li>Definir la mejor forma en que un operario puede llevar a cabo múltiples actividades manuales (polivalencia).</li> <li>Definir la mejor forma en que un operario puede llevar a cabo múltiples actividades en diferentes equipos o máquinas (polivalencia).</li> <li>Eliminar los tiempos improductivos de operarios y equipos o maquinaria.</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>¿Cómo pueden reducirse las operaciones de manera que sean más cortas o fáciles de realizar?               <ol style="list-style-type: none"> <li>Utilizando mejores herramientas.</li> <li>Modificando los esfuerzos que se realizan al efectuar la operación.</li> <li>Cambiando la posición de los controles o herramientas.</li> <li>Mejorando los contenedores de materiales.</li> <li>Utilizando las fuerzas inerciales de manera intensiva.</li> <li>Disminuyendo las inspecciones visuales.</li> <li>Mejorando la ergonomía de la estación de trabajo.</li> </ol> </li> </ol>
		<ol style="list-style-type: none"> <li>¿Cómo pueden los movimientos realizarse de manera que sean más cortos o fáciles de realizar?               <ol style="list-style-type: none"> <li>Modificando la distribución de la estación de trabajo, reduciendo distancias.</li> <li>Cambiando la trayectoria de los movimientos.</li> <li>Utilizando el primer grupo de músculos que proporcionan una fuerza suficiente para realizar un trabajo: dedos, muñeca, antebrazo, hombro y tronco.</li> <li>Realizando movimientos continuos que no sean desiguales entre sí.</li> </ol> </li> </ol>
		<ol style="list-style-type: none"> <li>¿Cómo pueden las sujeciones realizarse más fácilmente?               <ol style="list-style-type: none"> <li>Reduciendo el tiempo de sujeción.</li> <li>Utilizando músculos que proporcionan fuerza excedente para esta tarea, como las piernas combinadas con los pies, que operan como mecanismos de sujeción.</li> </ol> </li> </ol>

# Preguntas guía para la evaluación del diagrama hombre - máquina

Diagrama	Para qué se emplea	Preguntas para realizar evaluación
Diagrama de relación de hombre-máquina	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Definir la mejor forma en que un operario puede llevar a cabo múltiples actividades manuales (polivalencia).</li> <li>- Definir la mejor forma en que un operario puede llevar a cabo múltiples actividades en diferentes equipos o máquinas (polivalencia).</li> <li>- Eliminar los tiempos improductivos de operarios y equipos o maquinaria.</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ¿Cómo puede reducirse el ciclo de la operación mejorando movimientos?               <ol style="list-style-type: none"> <li>a) Acortando las distancias de la herramienta y el equipo utilizados.</li> <li>b) Modificando la dirección de los movimientos del trabajo.</li> <li>c) Usando músculos distintos (dedos, muñeca, antebrazo, hombro o tronco).</li> <li>d) Realizando movimientos continuos y no discontinuos y bruscos.</li> <li>e) Empleando dispositivos que permitan que por gravedad el material elaborado se almacene en un contenedor.</li> </ol> </li> </ol>
		<ol style="list-style-type: none"> <li>2. ¿Cómo puede reducirse el ciclo de trabajo para que el trabajo manual se realice durante el tiempo de máquina?               <ol style="list-style-type: none"> <li>a) Utilizando alimentadores automáticos.</li> <li>b) Empleando abastecedores automáticos de materiales.</li> <li>c) Modificando la secuencia de trabajos entre la máquina y el operario.</li> <li>d) Incluyendo sistemas de paro automático en caso de que exista falta de abastecimiento de material al equipo.</li> </ol> </li> </ol>
		<ol style="list-style-type: none"> <li>3. ¿Cómo puede reducirse el tiempo de máquina?               <ol style="list-style-type: none"> <li>a) Usando mejores herramientas.</li> <li>b) Combinando herramientas.</li> <li>c) Incrementando la velocidad de la máquina o de alimentación.</li> </ol> </li> </ol>

Diagrama	Para qué se emplea	Preguntas para realizar evaluación
Diagrama de relación de hombre-máquina	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Definir la mejor forma en que un operario puede llevar a cabo múltiples actividades manuales (polivalencia).</li> <li>- Definir la mejor forma en que un operario puede llevar a cabo múltiples actividades en diferentes equipos o máquinas (polivalencia).</li> <li>- Eliminar los tiempos improductivos de operarios y equipos o maquinaria.</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pueden combinarse algunas operaciones con otras realizando algunos cambios en...               <ol style="list-style-type: none"> <li>a) La distribución de la estación de trabajo.</li> <li>b) El equipo y maquinaria utilizados.</li> <li>c) La secuencia de operación.</li> </ol> </li> </ol>
		<ol style="list-style-type: none"> <li>2. ¿Cómo pueden ser combinados los movimientos?               <ol style="list-style-type: none"> <li>a) Modificando la secuencia como se realiza el trabajo.</li> <li>b) Modificando la distribución de la estación de trabajo.</li> <li>c) Cambiando la cantidad de material manipulado por unidad de tiempo.</li> </ol> </li> </ol>
		<ol style="list-style-type: none"> <li>3. ¿Cómo pueden reducirse las demoras?               <ol style="list-style-type: none"> <li>a) Modificando la secuencia como se realiza el trabajo.</li> <li>b) Modificando la distribución de la estación de trabajo.</li> <li>c) Realizando un adecuado abastecimiento de suministros y agrupándolos de manera efectiva.</li> </ol> </li> </ol>
		<ol style="list-style-type: none"> <li>4. ¿Cómo pueden combinarse los conteos e inspecciones?               <ol style="list-style-type: none"> <li>a) Modificando la secuencia como se realiza el trabajo.</li> <li>b) Modificando la distribución de la estación de trabajo.</li> </ol> </li> </ol>

# Información básica del diagrama hombre máquina

Diagrama	Contenido	Objetivos	Ayuda a conocer
De acoplamiento hombre-máquina	<ul style="list-style-type: none"><li>- Condición que se analiza.</li><li>- Fecha de elaboración.</li><li>- Nombre del analista.</li><li>- Número de las partes y modelos.</li><li>- Nivel de la notificación de cambios en la información de manufactura.</li><li>- Identificación de la duración de los tiempos muertos y productivos de una cuadrilla de trabajo.</li><li>- Identificación de complejidad del proceso de fabricación de los productos.</li><li>- Distribución en detalle del área de trabajo (<i>lay out</i>).</li><li>- Documentos referenciales.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Definir la mejor forma en que un operario puede llevar a cabo múltiples actividades manuales (polivalencia).</li><li>- Definir la mejor forma en que un operario puede llevar a cabo múltiples actividades en diferentes equipos o máquinas (polivalencia).</li><li>- Eliminar los tiempos improductivos de operarios y equipos o maquinaria.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Permite identificar grupos tecnológicos de fabricación atendidos por un operario.</li><li>- Ofrece información para evaluar el trabajo de cuadrillas de trabajadores.</li><li>- Ofrece información para definir las necesidades de mantenimiento total productivo en maquinaria y equipo.</li><li>- Permite definir una célula de manufactura flexible atendida por un operario.</li><li>- Ofrece información para mejorar la eficiencia en el trabajo productivo de secciones de trabajo integradas por más de un equipo y con más de un operario.</li></ul>

## Ejemplo 1

---

La empresa repostera la flor del Mayo desea determinar el tiempo de ocio de un operador que atiende 4 hornos automáticos. Para poder reasignarle tareas. Los siguientes son los tiempos estándar en minutos.

	Horno 1	Horno 2	Horno 3	Horno 4
Carga	2	3	2	2
Operación	15	25	10	16
Descarga	3	4	3	4

Elabore el diagrama hombre-máquina

Determine el % de utilización de cada máquina y el operario

Determine el tiempo de ciclo

# Ejemplo 1: Solución

---

## Diagrama hombre-máquina ejemplo 1

## Ejemplo 2

---

Cierta compañía debe fabricar 10,000 unidades de un producto que requiere una sola operación de moldeo en su proceso de fabricación. El pedido deberá estar terminado en 26 semanas. En la fábrica trabajan 88 horas por semana y hasta 40% de tiempo extra. Los tiempos estimados para cada uno de los elementos de la operación son:

Cargar material en máquina	4 minutos
Moldear (automático)	20 minutos
Descargar la parte terminada	2 minutos
Inspeccionar	3 minutos
Caminar de máquina a máquina	1 minuto

El ciclo utilizado para determinar los costos se acostumbra corregir aumentándoles un suplemento de 15%

Solo se dispone de un operador y tres máquinas. Los costos son:

Salario del operador: \$500.00/hora normal; \$750.00/hora extra;

Costo variable de máquina \$100/hora

Material \$150.00 por unidad

Costo de preparación y montaje: \$40,000/montaje por máquina

Se desea encontrar el método de producción más económico para fabricar el pedido, aplicando el método del diagrama hombre-máquina

## Ejemplo 2: Solución

---

Diagrama H-M, ejemplo 2 – 1 H – 1 M

Diagrama H-M, ejemplo 2 – 1 H – 2 M

Diagrama H-M, ejemplo 2 – 1 H – 3 M

## Ejemplo 2: Solución

- **Opción 1**  
**1 operador atiende 1 máquina**

*Tiempo de ciclo total = 29 minutos*

*Producción por ciclo = 1 pieza*

*Tiempo estandar = tiempo de ciclo × (1 + suplemento)*

*Tiempo estandar = 29 minutos × (1 + 0.15) = 33.35 minutos*

$$\text{Piezas por hora} = \frac{60 \text{ min}}{33.35 \text{ min}} = 1.79 \text{ piezas/hora}$$

Para aspectos ilustrativos  
asumiremos 2 piezas/hora

$$\text{Tiempo para 10000 piezas} = \frac{10000 \text{ piezas}}{2 \text{ piezas/hora}} = 5000 \text{ horas}$$

*Se cuenta con un tiempo total de 26 semanas y trabajan 88 horas por semana*

*Total de horas trabajadas = 26 semanas × 88 horas = 2288 horas*

*Se acepta un 40% de tiempo extra = 915.2 horas*

*Total de horas trabajadas = 2288 horas + 915.2 horas extras = 3203.2 horas*

***No se puede terminar el trabajo a tiempo***

## Ejemplo 2: Solución

- **Opción 2**  
**1 operador atiende 2 máquinas**

*Tiempo de ciclo total = 35 minutos*

*Producción por ciclo = 2 piezas*

$$Tiempo\ estandar = 35\ minutos \times (1 + 0.15) = 40.25\ minutos$$

$$Tiempo\ estandar = \frac{40.25\ minutos}{2\ piezas} = 20.125\ minutos/pieza$$

$$Piezas\ por\ hora = \frac{60\ min}{20.125\ min} = 2.98\ piezas/horas$$

Para aspectos ilustrativos  
asumiremos 3 piezas/hora

$$Tiempo\ para\ 10000\ piezas = \frac{10000\ piezas}{3\ piezas/hora} = 3333.33\ horas$$

$$Total\ de\ horas\ trabajada = 2288\ horas + 915.2\ horas\ extras = 3203.2\ horas$$

*Como se necesitan 3333.33 horas para completar 10000 piezas y con la capacidad disponible solamente se alcanza 3203.2 horas – **No se puede terminar el trabajo a tiempo***

## Ejemplo 2 : Solución

- **Opción 3**  
**1 operador atiende 3 máquinas**

*Tiempo de ciclo total = 41 minutos*

*Producción por ciclo = 3 piezas*

$$Tiempo\ estandar = 41\ minutos \times (1 + 0.15) = 47.15\ minutos$$

$$Tiempo\ estandar = \frac{47.15\ minutos}{3\ piezas} = 15.72\ minutos/pieza$$

$$Piezas\ por\ hora = \frac{60\ min}{15.72\ min} = 3.8\ piezas/hora$$

Para aspectos ilustrativos  
asumiremos 4 piezas/hora

$$Tiempo\ para\ 10000\ piezas = \frac{10000\ piezas}{4\ piezas/hora} = 2500\ horas$$

*Total de horas normales trabajadas = 2288 horas*

*Se necesitan 2500 – 2288 horas = 212 horas extras*

***Si se puede cumplir con el pedido***

## Ejemplo 3 : Solución

- **Opción 3 - Análisis de costos**  
**1 operador atiende 3 máquinas**

*Total de horas normales trabajadas = 2288 horas*

*Total de horas extras trabajadas = 212 horas*

*Total de horas trabajadas = 2500 horas*

	Cantidad	Costo unitario (\$)	Costo total
Material (piezas)	10,000	150	\$1,500,000
Tiempo normal m.o. (horas)	2288	500	1,144,000
Tiempo extra m.o. (horas)	212	750	159,000
Costo de hora maquina (\$)	2500 X 3 máquinas	100	750,000
Costo de montaje (\$)	3 máquinas	40,000	120,000
<b>TOTAL</b>			<b>\$3,673,000</b>

# Herramientas cuantitativas: relaciones entre el operador y la máquina

---

A pesar de que el diagrama hombre-máquina puede ilustrar el número de equipo que puede asignarse a un operador, a veces dicho número puede calcularse en mucho menor tiempo a través del desarrollo de un modelo matemático. La relación entre el operador y la máquina se puede clasificar en:

- **Servicio sincrónico**

La asignación de más de una máquina a un operador casi siempre resulta en el caso ideal, donde tanto el operador como la máquina están ocupados durante todo el ciclo. Dichos casos se conocen como servicio sincrónico y el número de máquina que se asignará puede calcularse como:

$$n = \frac{l + m}{l}$$

*donde:*

*n = número de máquina asignadas al operador*

*l = tiempo total de carga y descarga (servicio) por máquina*

*m = tiempo total de operación de la máquina (alimentación automática de energía)*

## Servicio sincrónico

---

Suponga un tiempo total de un ciclo de 4 minutos para fabricar un producto, medido desde el comienzo de la descarga del producto anteriormente terminado hasta el final del tiempo de ciclo de la máquina. El servicio del operador, que incluye la descarga del producto terminado y la carga de la materia prima, es de 1 minuto, mientras que el tiempo de ciclo de la máquina automática es de 3 minutos.

El servicio sincrónico daría como resultado la asignación de

$$n = \frac{l + m}{l}$$

$$n = \frac{1 + 3}{1}$$

$$n = 4 \text{ máquinas}$$

## Servicio sincrónico

---

- Si el número de máquinas aumenta en el ejemplo anterior, se presentará interferencia entre las máquinas y se tendrá una situación en la que una o más instalaciones estarán ociosos en una parte del ciclo de trabajo.
- Si el número de máquinas se reduce en algún número menor a 4, el operador estará ocioso en una parte del ciclo. En dichos casos, el costo mínimo total por pieza generalmente representa el criterio para una operación máxima.
- Una dificultad adicional se presenta debido a la existencia de condiciones menos ideales. Es posible que el operador necesite caminar entre las máquinas o limpiarlas y ajustarlas. Este tiempo del operador también necesita tomarse en cuenta con base en el costo de cada máquina ociosa y el costo por hora del operador.

# Servicio sincrónico: Fórmulas

---

- El número de máquinas que debe asignársele a un operador en condiciones realistas puede recalcularse mediante el número entero menor a partir de la siguiente ecuación:

$$n_1 \leq \frac{l + m}{l + w}$$

donde:

$n_1$  = número entero más bajo

$w$  = tiempo total del trabajador (cuando no interactúa directamente con la máquina,)

- El tiempo de ciclo cuando el operador está trabajando  $n_1$  máquinas es  $l + m$ , puesto que, en este caso, el operador no está ocupado todo el ciclo, pero el equipo se encuentra ocupado durante el ciclo completo
- Con  $n_1$  podemos calcular el costo total esperado (TEC) con la siguiente ecuación:

$$TEC_{n_1} = \frac{K_1(l + m) + n_1 K_2(l + m)}{n_1} = \frac{(l + m)(K_1 + n_1 K_2)}{n_1}$$

donde:

$TEC$  = costo total esperado por unidad de producción de una máquina

$K_1$  = salario del operador por unidad de tiempo

$K_2$  = costo de la máquina por unidad de tiempo

## Servicio sincrónico: Fórmulas

---

- Después de que se ha calculado este costo, se debe calcular el costo de  $n_{1+1}$  máquinas asignadas al operador. En este caso, el tiempo de ciclo está gobernado por el ciclo de trabajo del operador, puesto que existe cierto tiempo de máquina ocioso. El tiempo del ciclo es ahora  $(n_{1+1})(l + w)$ . Sea  $n_2 = n_{1+1}$

$$TEC_{n_2} = (l + w)(K_1 + n_2K_2)$$

- El número de máquinas asignadas depende de que  $n_1$  o  $n_2$  produzcan el costo esperado total más bajo por pieza

## Servicio sincrónico: Ejemplo

---

- Un operador emplea 1 minuto para dar servicio a una máquina y 0.1 minuto para llegar caminando a la siguiente. Cada máquina trabaja automáticamente durante 3 minutos, el operador gana \$10.00/hora y la operación de las máquinas cuesta \$20.00/hora. ¿Cuántas máquinas puede atender el operador?

*El número óptimo de máquinas que el operador puede atender es*

$$n_1 = \frac{l + m}{l + w}$$

$$n_1 = \frac{1 + 3}{1 + 0.1} = 3.6$$

Debido a que el número es fraccionario se tienen dos opciones. Al operador pueden asignársele 3 máquinas (opción 1), en cuyo caso estará ocioso parte del tiempo. O pueden asignársele 4 máquinas (opción 2), en cuyo caso serán las máquinas la que estarán ociosas parte del tiempo.

La mejor opción es buscar la economía de la situación, esto es, costo mínimo por unidad

## Servicio sincrónico: Ejemplo

---

- Opción 1

$$TEC_{n_1} = \frac{(l + m)(K_1 + n_1 K_2)}{n_1}$$

$$TEC_3 = \frac{(1 + 3)[10 + (3)(20)]}{3}$$

$$TEC_3 = \frac{(1 + 3)[(10/60) + (3)(20/60)]}{3} = \$1.556/\text{unidad}$$

*También se puede calcular utilizando la velocidad de producción*

*La **velocidad de producción** se basa en que las máquinas representan el factor limitante (es decir, el trabajador está ocioso a veces) y en que las máquinas producen una unidad por máquina por ciclo total*

$$R = \frac{60}{l + m} \times n_1$$

El costo esperado de la mano de obra y de las máquinas se divide entre la velocidad de producción

$$R = \frac{60}{1 + 3} \times 3 = 45 \text{ unidades/hora}$$

$$TEC_3 = \frac{(K_1 + n_1 K_2)}{R} = \$1.556/\text{unidad}$$

## Servicio sincrónico: Ejemplo

---

- Opción 2

$$TEC_{n_2} = (l + w)(K_1 + n_2 K_2)$$

$$TEC_4 = (1 + 0.1)[10 + (4 \times 20)]$$

$$TEC_4 = (1 + 0.1)[(10/60) + (4 \times (20/60))] = \$1.65/\text{unidad}$$

*También se puede calcular utilizando la velocidad de producción.*

*Este caso se basa en que el trabajador representan el factor limitante*

*(es decir, las maquinas estan ociosas todo el tiempo)*

$$R = \frac{60}{l + w}$$

$$R = \frac{60}{1.1} = 54.54 \text{ unidades/hora}$$

El costo esperado de la mano de obra y de las máquinas se divide entre la velocidad de producción

$$TEC_4 = \frac{(K_1 + n_1 K_2)}{R}$$

$$TEC_4 = \frac{[10 + (4 \times 20)]}{54.54} = \$1.65/\text{unidad}$$

## Servicio sincrónico: Ejemplo

---

- Basado en el costo mínimo, la configuración con 3 máquinas es la mejor
- Sin embargo, si existe una demanda del mercado a precios de venta atractivos, las ganancias pueden maximizarse mediante el uso de una configuración con cuatro máquinas
- Ahora, si se reduce el tiempo de carga/descarga de 1 minuto a 0.9 minutos, el número óptimo de máquinas que puede atender el operador es de

$$n_1 = \frac{l + m}{l + w}$$

$$n_1 = \frac{0.9 + 3}{0.9 + 0.1} = 3.9$$

## Servicio sincrónico: Ejemplo

---

- Velocidad de producción para la nueva alternativa de reducción de tiempo de carga/descarga
- Opción 1

$$TEC_3 = \frac{(0.9 + 3)[10 + (3)(20)]}{(3 \times 60)} = \$1.517/\text{unidad}$$

$$R = \frac{60}{0.9 + 3} \times 3 = 46.15 \text{ unidades/hora}$$

- Opción 2

$$TEC_4 = (0.9 + 0.1)[10 + (4 \times 20)]/60 = \$1.5/\text{unidad}$$

$$R = \frac{60}{0.9 + 0.1} = 60 \text{ unidades/hora}$$

## Servicio sincrónico : Ejemplo

---

### Conclusiones:

- Con base al costo más bajo y al tiempo ocioso mínimo, la configuración con 4 máquinas es la mejor.
- La reducción de 10% del tiempo de carga/descarga (de 1 a 0.9 minutos) nos genera varias mejoras positivas:
  - Un aumento de 10% en la producción (60 comparado con 54.54 unidades/hora)
  - Una reducción del tiempo ocioso del operador
  - Una disminución de 3.6 % en los costos unitarios de 1.556 a 1.50 dólares por unidad.
- Esto demuestra la importancia de reducir el tiempo de carga o preparación de la maquina

# Bibliografía

---

- Freivalds, A. & Niebel, B. *Ingeniería Industrial – métodos estándares y diseño del trabajo*. McGraw-Hill
- García Criollo, R. *Estudio del trabajo*. McGraw-Hill
- Meyers, F. & Stephens, M.. *Diseño de instalaciones de manufactura y manejo de materiales*. Pearson
- Render, B. & Heizer, J. *Principios de administración de operaciones*. Pearson
- Kanawaty, G. *Introducción al estudio de trabajo*. OIT
- Bedny, G. & Bedny, I. (2019) *Work Activity Studies Within the Framework of Ergonomics, Psychology, and Economics*. Taylor & Francis Group.
- Bridger, R. (2019). *Introduction to Human Factors and Ergonomics*. Taylor & Francis Group.
- Lehto, M. & Buck, J. (2008). *Introduction to Human Factors and Ergonomics of Engineers*. Taylor & Francis Group.
- Stack, T. et al. (2016). *Occupational Ergonomics – A Practical Approach*. Wiley
- Kroemer, K. (2017). *Fitting the Human – Introduction to Ergonomics / Human Factors Engineering*. Taylor & Francis Group.
- Marras, W. & Karwowski, W. (2006) *Fundamentals And Assessment Tools For Occupational Ergonomics*. Taylor & Francis Group.
- Konz, S. & Johnson, S. (2016) *Work Design and Occupational Ergonomics*. Taylor & Francis Group.
- Abraham, C. (2008). *Manual de tiempos y movimientos: Ingeniería de métodos*. Limusa
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). (2006). *Guía Técnica para la integración de la prevención de riesgos laborales en el sistema general de gestión de la empresa*. Ministerio de Empleo y Seguridad Social. Gobierno de España
- (1998). *Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo*. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales
- Palacios, L. (2009). *Ingeniería de Métodos, Movimientos y Tiempos*. Ecoe Ediciones
- Krick (1994). *Ingeniería de Métodos*. Limusa
- Castellanos, J., et al. (2008). *Organización del Trabajo: Ingeniería de Métodos – Tomo I*. Editorial Felix Varela
- Castellanos, J., et al. (2008). *Organización del Trabajo: Estudio de Tiempos – Tomo II*. Editorial Felix Varela
- Mondelo, P. et al. (1999). *Ergonomía 3: Diseños de Puestos de Trabajo*. Mutua Universal
- Palacios, L. (2016). *Ingeniería de Métodos Movimientos y Tiempos*. Ecoe Ediciones
- Peralta, J. et al (2014) *Estudio del Trabajo*. Grupo Editorial Patria
- Caso Neira, A. *Técnicas de Medición del Trabajo*
- <http://www.css.org.pa/>
- <http://www.osha.gov/>



Ricardo Caballero, M.Sc.

Docente Tiempo Completo  
Facultad de Ingeniería Industrial  
Centro Regional de Chiriquí  
Universidad Tecnológica de Panamá

E-mail: [ricardo.caballero@utp.ac.pa](mailto:ricardo.caballero@utp.ac.pa)

<https://www.academia.utp.ac.pa/ricardo-caballero>