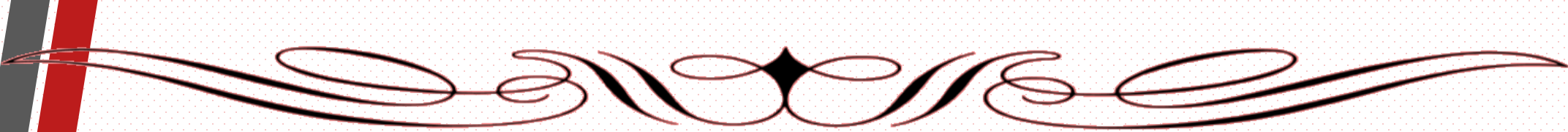


An abstract graphic in the bottom-left corner consisting of several overlapping, thick, diagonal lines in red and grey, creating a sense of depth and movement.

INGENIERIA DE MÉTODOS I



Hago valer mi poder con prudencia, sé que cuando me lo propongo puedo ser más generoso dando un poco más de mí.
Hoy expreso mis emociones y hago que salga a flote un lado que pocos conocen de mi persona.

Me doy permiso para compartir mis vivencias y talentos con los demás.

Me libero y me doy autorización para cambiar.



RELACIONES HOMBRE-MÁQUINA

PARTE I

Objetivos

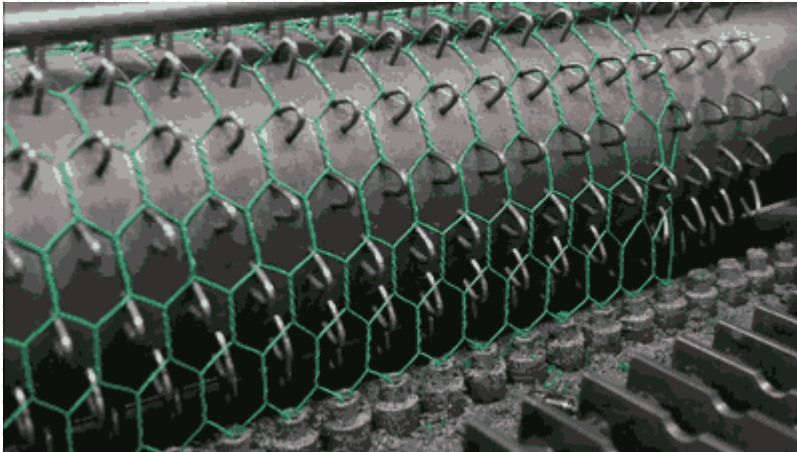
- Comparar las relaciones existentes entre distintos tipos de recursos: humano y máquina
- Conocer el diagrama Hombre-máquina y comprender su función
- Conocer el tipo de servicio sincrónico y analizar ejemplos



DIAGRAMA DE PROCESOS HOMBRE-MAQUINA

- El diagrama de procesos hombre-máquina se utiliza para estudiar, analizar y mejorar una estación de trabajo a la vez.
- El diagrama muestra la relación de tiempo exacta entre el ciclo de trabajo de la persona y el ciclo de operación de la máquina.
- Conocer e interrelacionar estos ciclos puede conducir a una utilización más completa del tiempo del trabajador y de la máquina así como a obtener un mejor balance del ciclo de trabajo.

- Muchas máquinas herramienta son totalmente automáticas o semiautomáticas. Con este tipo de equipos, el operador muy a menudo está desocupado en una parte del ciclo.
- La utilización de este tiempo ocioso puede incrementar las ganancias del operador y mejorar la eficiencia de la producción.



Acoplamiento de máquinas Es la práctica de hacer que un empleado maneje más de una máquina.

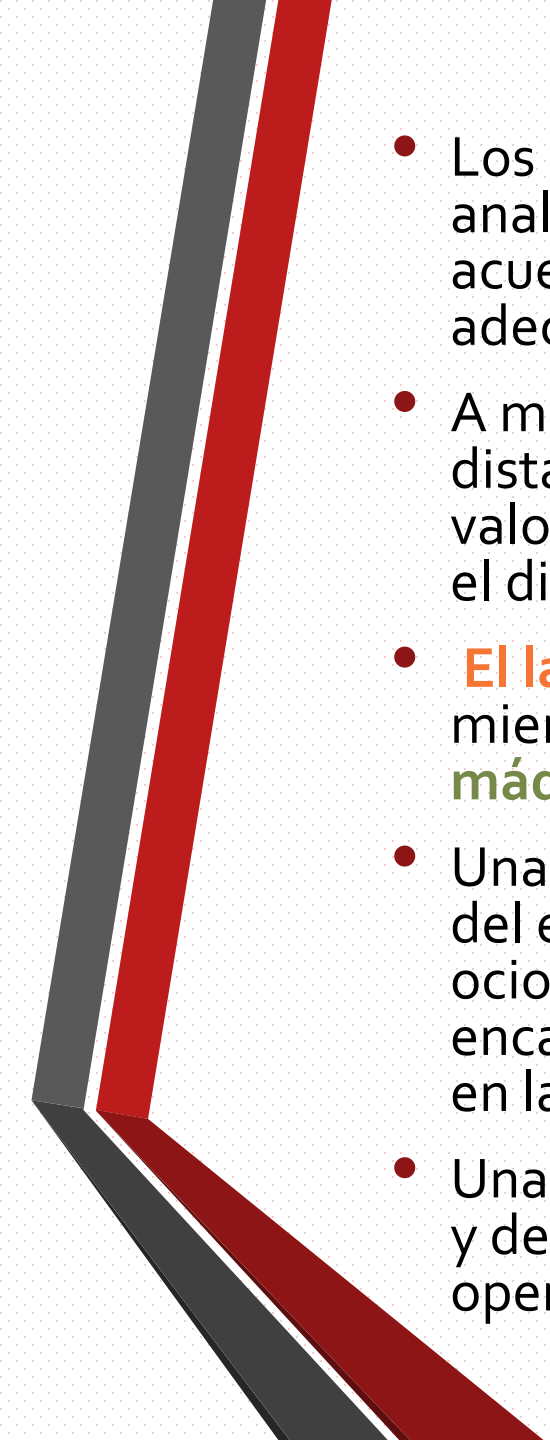
Debido a que los sindicatos se podrían resistir a aceptar este concepto, la mejor manera de “vender” el acoplamiento de máquinas es demostrar la oportunidad de obtener ganancias adicionales.

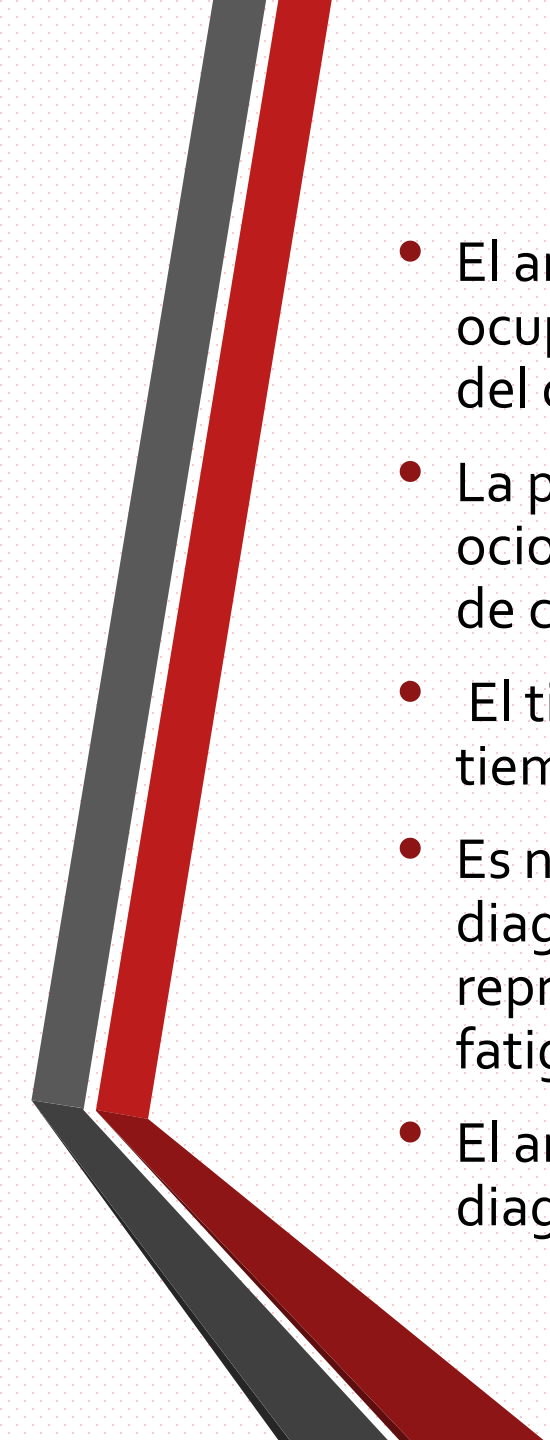
- Como aumenta el porcentaje de “tiempo de esfuerzo” durante el ciclo de operación, son posibles mayores incentivos si la compañía trabaja con base en un plan de pago de incentivos.
- También se obtienen ganancias base mayores cuando se pone en práctica el acoplamiento de máquinas, puesto que el operador tiene una mayor responsabilidad y puede ejercer un esfuerzo mental y físico mayores.



ELABORACION DE UN DIAGRAMA DE PROCESO DEL TRABAJADOR Y DE LA MÁQUINA

- Cuando se elabora el diagrama de procesos hombre-máquina, en primer lugar el analista debe identificar el diagrama con un título tal como: Diagrama de procesos hombre-máquina.
- Información adicional acerca de la identificación podría incluir
 - ✓ el número de parte
 - ✓ el número de diagrama
 - ✓ la descripción de la operación
 - ✓ el método actual o propuesto
 - ✓ la fecha y el número de la persona que elabora el diagrama.

- 
- Los diagramas hombre-máquina se dibujan siempre a escala, por lo que el analista debe seleccionar una distancia en pulgadas o centímetros para estar de acuerdo con una unidad de tiempo tal que el diagrama pueda distribuirse adecuadamente.
 - A medida que el tiempo del ciclo de la operación que se analiza sea mayor, la distancia por minuto decimal será más corta. Una vez que se han establecido los valores exactos de la distancia, en pulgadas o centímetros por unidad de tiempo, el diagrama puede comenzar.
 - **El lado izquierdo muestra las operaciones y el tiempo para el empleado,** mientras que **el derecho muestra el tiempo trabajado y el tiempo ocioso de la máquina o máquinas.**
 - Una línea continua que se dibuja verticalmente representa el tiempo de trabajo del empleado. Un corte en la línea trabajo-tiempo vertical significa tiempo ocioso. De la misma manera, una línea vertical continua por debajo de cada encabezado de máquina indica el tiempo de operación de la máquina y un corte en la línea vertical de la máquina señala el tiempo ocioso de ésta.
 - Una línea punteada por debajo de la columna máquina indica el tiempo de carga y de descarga de la máquina, durante el cual la máquina no está ociosa ni en operación

- 
- El analista debe elaborar diagramas de todos los elementos de tiempo ocioso y ocupado tanto del trabajador como de la máquina a lo largo de la terminación del ciclo.
 - La parte inferior del diagrama muestra el tiempo de trabajo total y el tiempo ocioso total del trabajador así como el tiempo de trabajo total y el tiempo ocioso de cada máquina.
 - El tiempo productivo más el tiempo ocioso del trabajador debe ser igual al tiempo productivo más el tiempo ocioso de cada máquina con la que él opera.
 - Es necesario contar con valores elementales de tiempo precisos antes de que el diagrama del trabajador y la máquina puedan construirse. Dichos valores deben representar tiempos estándar que incluyan una tolerancia aceptable para la fatiga, retrasos inevitables y retardos del personal.
 - El analista nunca debe utilizar lecturas generales del cronómetro para elaborar el diagrama.

- El diagrama de proceso hombre-máquina terminado muestra claramente la áreas en las que ocurre el tiempo ocioso de máquina y el tiempo ocioso del trabajador.
- Por lo general, estas áreas son un buen lugar para comenzar a llevar a cabo mejoras.
- Sin embargo, el analista también debe comparar el costo de la máquina ociosa con el del trabajador ocioso.
- Es sólo cuando se considera el costo total que el analista puede recomendar con seguridad un método por encima de otro.

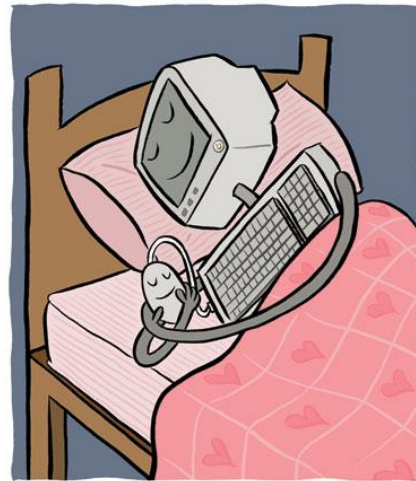


Diagrama del proceso del trabajador y de la máquina

Tema del diagrama Fresado de ranura en el sujetador de un regulador **Diagrama No.** 807
Dibujo núm. J-1492 **Parte núm.** J-1492-1 **Diagrama del método** Propuesto
Comienzo del diagrama Carga de máquinas para fresado **Diagramado por** C.A. Anderson
Término del diagrama Descarga de los sujetadores fresados **Fecha** 8-27 **Hoja** 1 **de** 1

Descripción del elemento	Operador	B.&S. Hor. Mill	
		Máquina 1	Máquina 2
Parar la máquina núm. 1	.0004	Unloading .0024	Mill slot .0040
Regresar la mesa de la máquina núm. 1, 5 pulgadas	.0010		
Aflojar las mordazas, remover la parte y dejarla a un lado (máquina núm. 1)	.0010		
Recoger la parte y apretar las mordazas de la máquina núm. 1	.0018	Loading .0032	Idle
Arrancar máquina núm. 1	.0004		
Avanzar la mesa y operar la alimentación de la máquina núm. 1	.0010		
Caminar hacia la máquina núm. 2	.0011	Mill slot .0040	Unloading .0024
Detener la máquina núm. 2	.0004		
Mesa de retorno máquina núm. 2 5 pulgadas	.0010		
Aflojar las mordazas de la máquina, quitar la parte y dejarla a un lado (máquina núm. 2)	.0010	Loading .0032	Idle
Recoger la parte y apretar las mordazas de la máquina núm. 2	.0018		
Poner en marcha máquina núm. 2	.0004		
Avanzar la mesa y operar la alimentación de la máquina núm. 2	.0010	Idle	
Caminar hacia la máquina núm. 1	.0011		
Tiempo ocioso por ciclo	.0000	Horas ociosas de la máquina núm. 1	.0038
Tiempo de hombres trabajando por ciclo	.0134	Horas productivas de la máquina núm. 1	.0096
Horas hombre por ciclo	.0134	Tiempo del ciclo de la máquina núm. 1	.0134
Horas ociosas máquina núm. 2		.0038	
Horas productivas máquina núm. 2		.0096	
Tiempo de ciclo de la máquina núm. 2		.0134	

DIAGRAMA DE PROCESOS DE GRUPO

- El diagrama de procesos de grupo es, en un sentido, una adaptación del diagrama hombre-máquina.
- El diagrama de procesos hombre-máquina determina el número de máquinas más económico que un trabajador puede operar. Sin embargo, varios procesos e instalaciones son de tal magnitud que en lugar de que un solo trabajador opere varias máquinas, es necesaria la participación de varios trabajadores para operar una sola máquina de manera eficiente.
- El diagrama de procesos de grupo muestra la relación exacta entre los ciclos ociosos y operativos de la máquina y los tiempos ociosos y operativos por ciclo de los trabajadores que operan dicha máquina.
- Este diagrama revela las posibilidades de mejora mediante la reducción de los tiempos ociosos tanto para la máquina como el operador.

HERRAMIENTAS CUANTITATIVAS: RELACIONES ENTRE EL OPERADOR Y LA MÁQUINA

- A pesar de que el diagrama de procesos 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 es, en general, de uno de estos tres tipos:
 - 1) **Servicio sincrónico**
 - 2) **Servicio totalmente aleatorio**
 - 3) **Una combinación de servicios sincrónico y aleatorio.**

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 ideales 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 máquinas 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)

*** *NOTA: Se considera esta fórmula como de condiciones IDEALES, por lo que su uso es limitado. En las próximas diapositivas se presenta un modelo más real***

Ejemplo, 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.

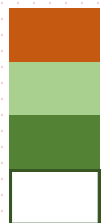
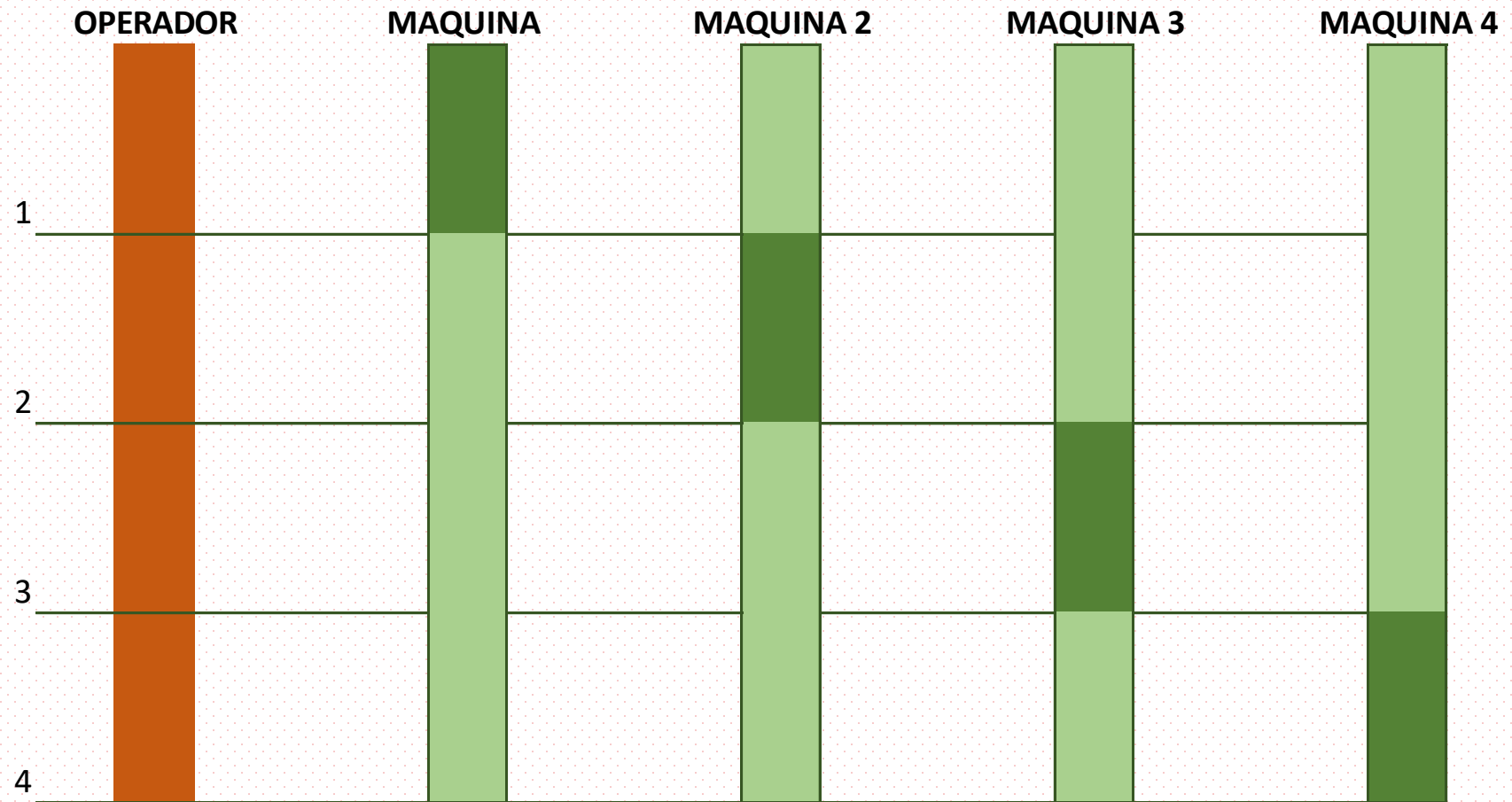
El servicio del operador, que incluye la descarga del producto terminado y la carga de la materia prima, es de 1 minuto

El tiempo del ciclo de la máquina automática es de 3 minutos. El servicio sincrónico daría como resultado la asignación de

$$n = \frac{1 + 3}{4} \text{ máquinas}$$

Si el número de máquinas aumenta en este caso, se presentará interferencia entre máquinas y se tendrá una situación en la que una o más instalaciones estarán ociosas en una parte del ciclo de trabajo. Si el número de máquinas se reduce a 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.

ASIGNACIÓN DEL SERVICIO SINCRÓNICO PARA UN OPERADOR Y CUATRO MÁQUINAS



TIEMPO DE HOMBRE TRABAJANDO
TIEMPO DE OPERACIÓN DE LA MÁQUINA
TIEMPO DE CARGA Y DESCARGA
TIEMPO OCIOSO

- Hay condiciones fuera de lo ideal: 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.
- El número de máquinas que a un operador debe asignársele en condiciones realistas puede recalcularse mediante el número entero menor a partir de la ecuación revisada:

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

Donde:

- n_1 = número entero más bajo
- w = tiempo total del trabajador (por lo general, cuando no interactúa directamente con la máquina, es el tiempo que emplea cuando se dirige caminando a la máquina siguiente).

Utilizando n_1 , podemos calcular el costo total esperado (TEC) de la manera siguiente:

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

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

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

Después de que se ha calculado este costo, se debe calcular el costo con $n_1 + 1$ máquinas asignadas al operador. En este caso, el tiempo del ciclo está gobernado por el ciclo de trabajo del operador, puesto que existe cierto tiempo de máquina ocioso. El tiempo del ciclo es ahora de $(n_1 + 1)(l + w)$.

Sea $n_2 = n_1 + 1$. Entonces, el costo esperado total con n_2 equipos es:

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

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

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

EJEMPLO DE SERVICIO SINCRONICO

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 dólares/hora y la operación de las máquinas cuesta 20.00 dólares/hora. ¿Cuántas máquinas puede servir el operador?

El número óptimo de máquinas que el operador puede servir es

$$n = (l + m) / (l + w) = (1 + 3) / (1 + 0.1) = 3.6$$

Debido a que el **número es fraccionario**, nos deja 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 podría estar basada en la economía de la situación, esto es, en el **costo mínimo por unidad**.

En la opción 1, el costo de producción esperado a partir de la ecuación (1) es (dividido entre 60 para convertir las horas a minutos)

$$TEC_3 = (l + m)(K_1 + n_1K_2)/n_1 = (1 + 3)(10 + 3 \times 20)(3/60) = \$1.556/\text{unidad}$$

En la opción 2, el costo de producción esperado, a partir de la ecuación (2) es

$$TEC_4 = (1 + w)(K_1 + n_2K_2) = (1 + 0.1)(10 + 4 \times 20)/60 = \$1.65/\text{unidad}$$

Basado en el costo mínimo, la configuración con tres 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.

Observe el efecto de reducir el tiempo de carga/descarga de 1 minuto a 0.9 minutos, una cantidad relativamente pequeña. El número óptimo de máquinas que el operador puede servir ahora es de

$$n = (l + m)/(l + w) = (0.9 + 3)/(0.9 + 0.1) = 3.9$$

Aunque el número es aún fraccionario, es muy cercano a 4, una cantidad realista.

Si se le asignan al operador tres máquinas (**opción 1**), estará ocioso una gran parte del tiempo, aumentando de 0.7 a 0.9 minutos o casi 25% del tiempo. El costo de producción esperado a partir de la ecuación (1) es (incluye el número 60 para convertir horas en minutos)

$$\begin{aligned} TEC_3 &= \frac{(l + m)(K_1 + n_1 K_2)}{n_1} = \frac{(0.9 + 3)(10 + 3 * 20)}{(3 * 60)} \\ &= \$1.517 \text{ unidades} \end{aligned}$$

El costo esperado es el costo de la mano de obra y de las máquinas dividido entre la velocidad de producción:

$$TEC_4 = (l + w)(K_1 + n_2 K_2) = (0.9 + 0.1)(10 + 4 \times 20)/60 = \$1.50/\text{unidad}$$

Con base en el costo más bajo y al tiempo ocioso mínimo, la configuración con 4 máquinas es la mejor. Observe que una 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 de 0.7 min (17.5% del tiempo del ciclo) en el primer escenario a 0.1 minutos de las máquinas en el segundo escenario.
- 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 el de configuración de la máquina. Observe también que la reducción del tiempo de desplazamiento en una cantidad comparable (0.1 minutos el cual, en este caso, lo elimina totalmente) resulta en el caso ideal que se muestra o en el de la figura de la diapositiva 14 con el mismo costo unitario de 1.50 dólares.

❖ **PLAN ALTERNO** Calcular la velocidad de producción R por hora:

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

Se parte nuevamente con que 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 de 4.0 minutos (1.0 minutos de tiempo de servicio, 3.0 minutos de tiempo máquina). Con 3 máquinas que trabajen 60 min/h, la velocidad de producción es

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

En consecuencia, el costo esperado es el costo de la mano de obra y de las máquinas dividido entre la velocidad de producción:

$$TEC_{n1} = \frac{(K_1 + n_1 K_2)}{R} = \frac{(10 + 3 \cdot 20)}{45} = \$1.556/\text{unidad}$$

❖ **Ahora la velocidad de producción se basa en el supuesto de que el trabajador es el factor limitante** (es decir, las máquinas están ociosas todo el tiempo). Puesto que el operador puede producir una unidad por ciclo de 1.1 minutos (tiempo de servicio "l" de 1.0 minuto y "w" de 0.1 minutos, tiempo de desplazamiento), la velocidad de producción (R) por hora de un método alterno es

$$R = \frac{60}{1 + w} = \frac{60}{1.1} = 54.54 \text{ unidades/h}$$

Por lo tanto, el costo esperado es el costo de las máquinas y la mano de obra dividido entre la velocidad de producción:

$$\text{TEC}_4 = (K_1 + n_1 K_2) / R = (10 + 4 \times 20) / 54.54 = \$1.65/\text{unidades}$$

❖ Reduciendo nuevamente l a 0.9 nos da una velocidad de producción de

$$R = \frac{60}{l + m} \times n_1 = \frac{60}{3.9} \times 3 = 46.15 \text{ unidades/h}$$

El costo esperado es el costo de las máquinas y la mano de obra dividido entre la velocidad de producción:

$$TEC_3 = (K_1 + n_1 K_2) / R = (10 + 3 \times 20) / 46.5 = \$1.517 / \text{unidad}$$

Si al trabajador se le asigna el número más realista de 4 máquinas (opción 2), el tiempo ocioso de la máquina más costosa disminuye de 0.4 a 0.1 minutos. El costo de producción esperado a partir de la ecuación (2) es

$$TEC_4 = (l + w)(K_1 + n_2 K_2) = (0.9 + 0.1)(10 + 4 \times 20) / 60 = \$1.50 / \text{unidad}$$

El plan alternativo nos da una velocidad de producción R por hora de

$$R = \frac{60}{l + w} = \frac{60}{1.0} = 60 \text{ unidades/h}$$

PARA RESOLVER EN CLASE

El tiempo de maquinado por pieza es de 0.164 horas y el tiempo de carga de la máquina es de 0.038 horas. Con un salario del operador de \$12.80/hora y un costo de máquina de \$14/hora, calcule el número óptimo de máquinas que produzca el costo más bajo por unidad de producción.

FIN DE LA PRIMERA PARTE

