# 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 mi.

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

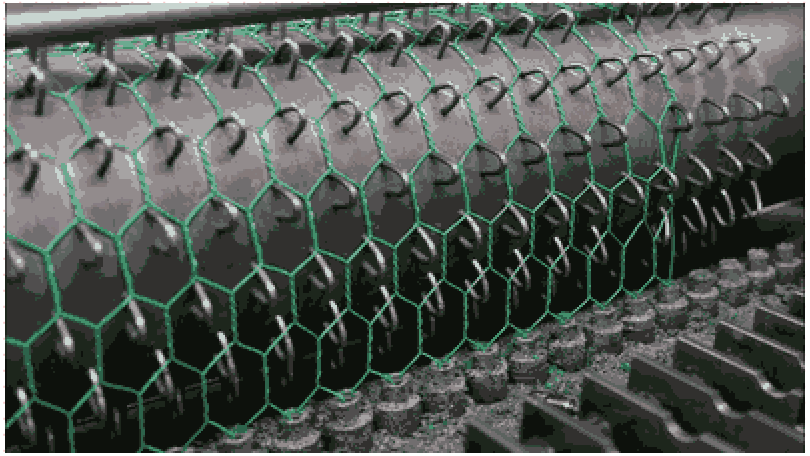
# Objetivos

- 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.

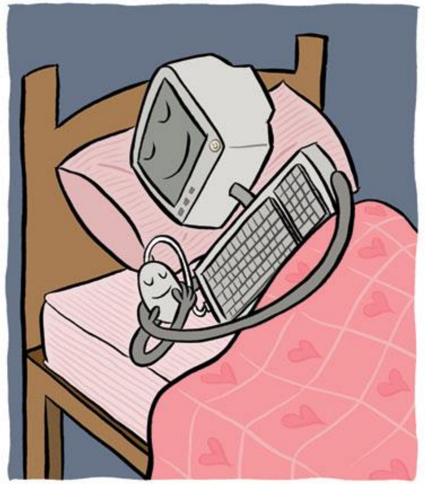
# ELABORACION DE UN DIAGRAMA DE PROCESO DEL TRABAJADOR Y DE LA MÁQUINA

- 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*** |
|---|---|
| Parar la máquina núm. 1 | .0004 |
| 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 |
| 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 |
| 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 |
| 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 |
| Caminar hacia la máquina núm. 1 | .0011 |

| B.&S. Hor. Mill ***Máquina 1*** | | B.&S. Hor. Mill ***Máquina 2*** | |
|---|---|---|---|
| Unloading | .0024 | Mill slot | .0040 |
| Loading | .0032 | Idle | |
| Mill slot | .0040 | Unloading | .0024 |
| Idle | | Loading | .0032 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 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.

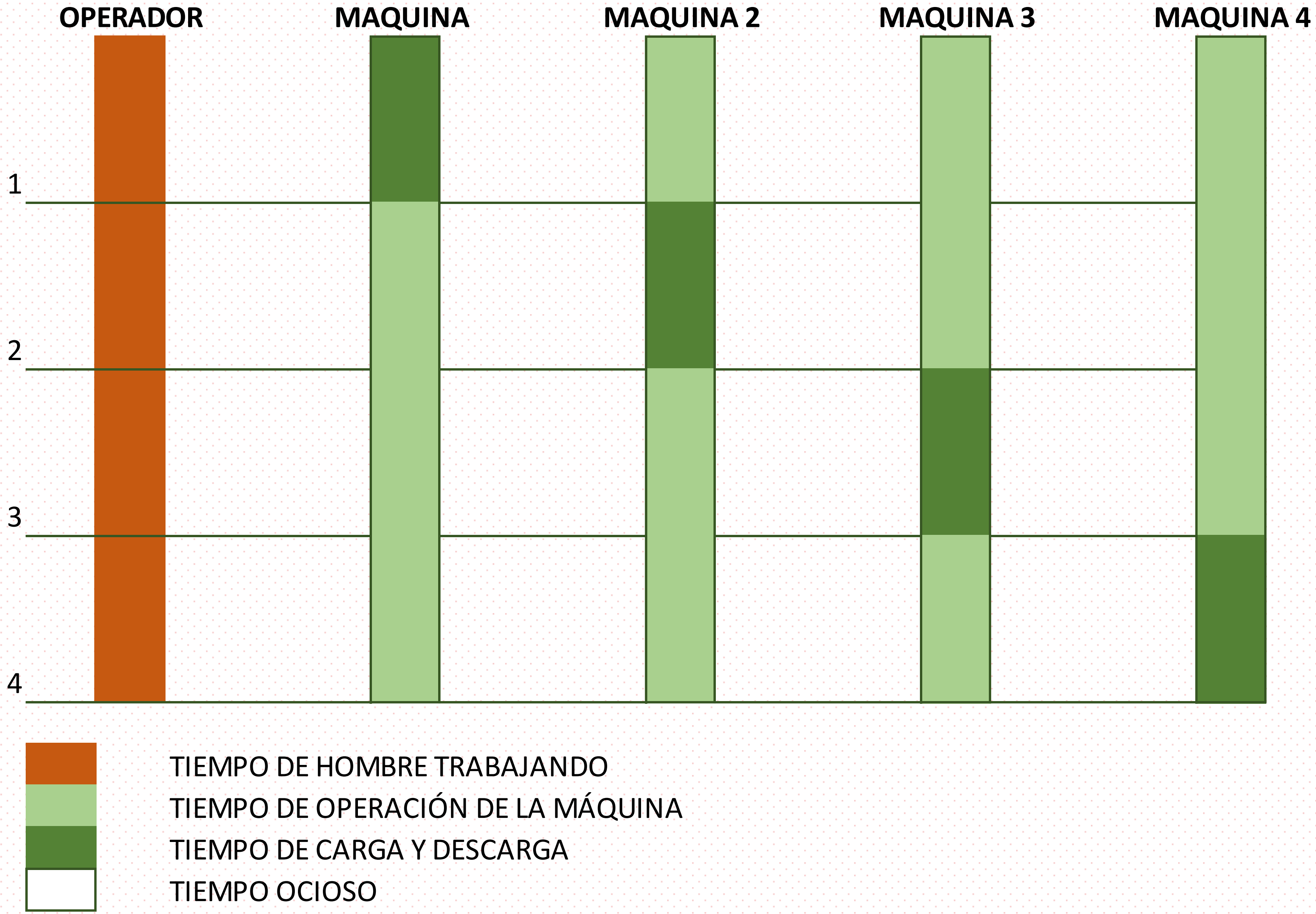
El servicio del operador, que incluye la descarga del producto terminado y la carga de la materia prima, es de 1 minuto

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

$$n = \frac{1+3}{4} \; máquinas$$

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



- 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:

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

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:

$$TEC_{n1} = \frac{K_1(l+m) + \; n_1 K_2(l+m)}{n_1}$$

$$TEC_{n1} = \frac{(l+m)\;\; (K_1 + n_1 K_2)}{n_1}$$

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:

$$TEC_{n2} = \frac{(K_1)(n_2)(l+w) + \; K_2 n_2 \;\; n_2(l+w)}{n_2}$$

$$TEC_{n2} = (l+w)(K_1 + n_2 K_2)$$

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

$$n = (l + m)/(l + w) = (1+3)/(1+0.1) = \mathbf{3.6}$$

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.**

**<u>En la opción 1</u>**, el costo de producción esperado a partir de la ecuación (1) es (dividido entre 6O para convertir las horas a minutos)

$$\text{TEC}_3 = (l + m)(K_1 + n_1K_2)/n_1 = (1 + 3)(10 + 3 \times 20)(3/60) = \$1.556/\text{unidad}$$

**<u>En la opción 2</u>**, el costo de producción esperado, a partir de la ecuación (2) es

$$\text{TEC}_4 = (1 + w)(K_1 + n_2K_2) = (1 + 0.1)(10 + 4 \times 20)/60 = \$1.65/\text{unidad}$$

**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)

$$TEC_3 = \frac{(l + m)(K_1 + \ n_1 K_2)}{n_1} = \frac{(0.9 + 3)(10 + 3 * 20)}{(3 * 60)}$$

= $1.517 unidades

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

$$TEC_4 = (l + w)(K_1 + n_2K_2) = (0.9 + 0.1)(10 + 4 \times 20)/60 = \$1.50/\text{unidad}$$

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:

$$TEC_{n1} = \frac{(K_1+n_1K_2)}{R} = \frac{(10+3*20)}{45} = \$1.556/unidad$$

❖ **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:

$$\text{TEC}_3 = (K_1 + n_1 K_2)/R = (10 + 3 \times 20)/46.5 = \$1.517/\text{unidad}$$

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

$$\text{TEC}_4 = (l + w)(K_1 + n_2 K_2) = (0.9 + 0.1)(10 + 4 \times 20)/60 = \$1.50/\text{unidad}$$

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

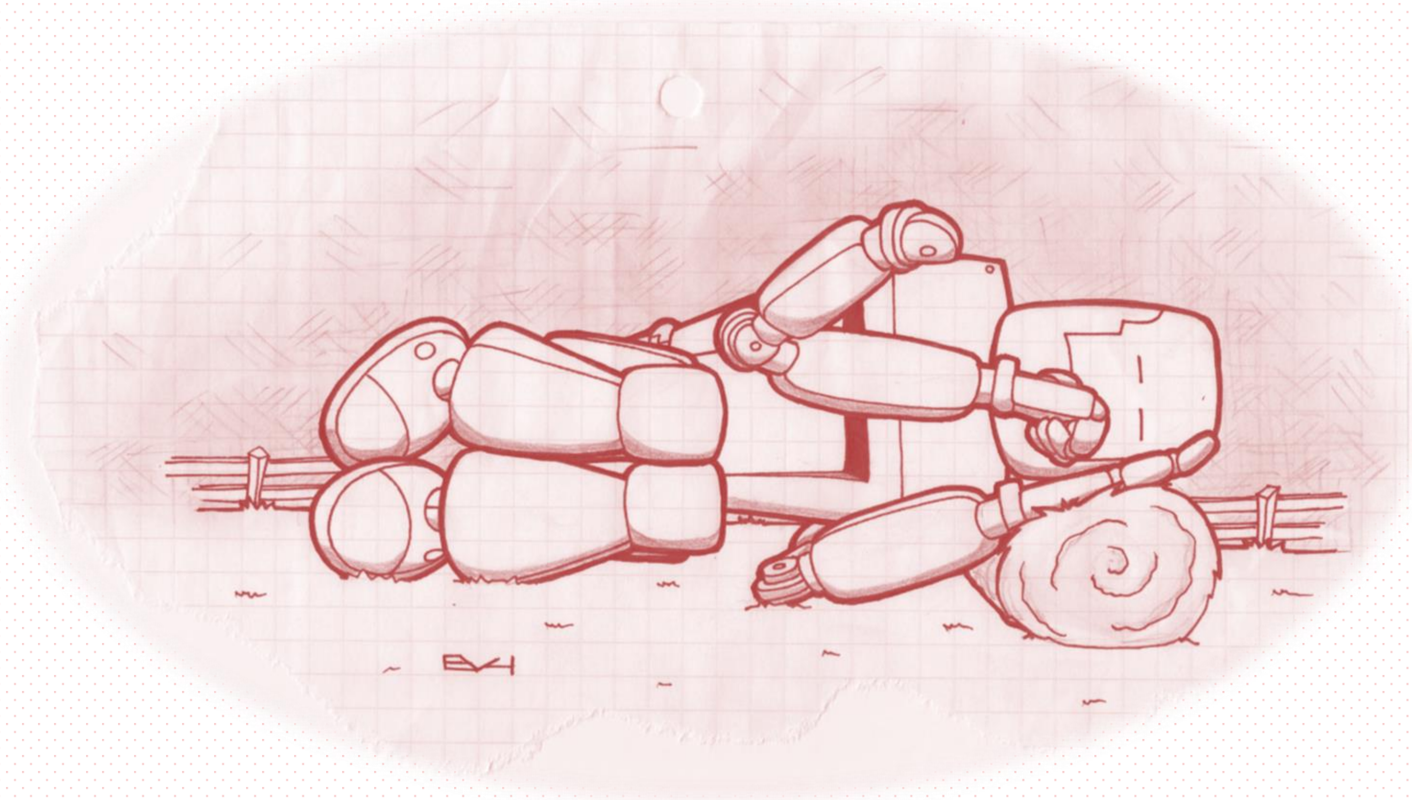
.

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

# 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



# INGENIERIA DE MÉTODOS I

La estima por mi mismo es un activo importante.

El día de hoy construyo en mi la mejor de las relaciones.

Cuanto más me amo y me construyo, más me acerco a la armonía universal.

Merezco lo mejor del mundo y me abro a recibirlo.

Soy el ser completo, amado e ilimitado que quiero ser.

# RELACIONES HOMBRE-MÁQUINA

PARTE II

# Objetivos

- Conocer el tipo de servicio Aleatorio y analizar ejemplos

# SERVICIO ALEATORIO

- Las situaciones de servicio totalmente aleatorio son aquellos casos en los que no se conoce cuándo se debe proporcionar servicio o cuánto tiempo dura el servicio a un equipo con dichos promedios, las leyes de probabilidad pueden proporcionar una herramienta útil para determinar el número de máquinas que se debe asignar a un solo operador.
- La expansión binomial proporcionan una aproximación útil de la probabilidad de 0, 1, 2, 3,…, n máquinas fuera de operación (donde el valor de n es relativamente pequeño), suponiendo que cada máquina está fuera de servicio en tiempos aleatorios durante el día y que la probabilidad de que estén fuera de servicio sea p y la probabilidad de que estén en operación sea q = 1 – p.
- Cada término de la expansión binomial puede representarse como una probabilidad m (de n) máquinas fuera de servicio:

$$P(m \text{ de } n) = \frac{n!}{m!\,(n - m)!}\, p^m\, q^{n-m}$$

# EJEMPLO DE SERVICIO ALEATORIO

Determinemos la proporción mínima de tiempo de máquina perdido de varios tornos de torreta asignados a un operador donde la máquina promedio trabaja sin prestársele atención 60% del tiempo. El tiempo de atención del operador (la máquina está fuera de servicio o requiere servicio) a intervalos irregulares es 40% en promedio. El analista estima que deben asignarse tres tornos de torreta por operador en este tipo de trabajo.

# Analizamos nuestras variables

Es importante reconocer la probabilidad de que las máquinas estén **FUERA DE SERVICIO** como $\boldsymbol{p}$ este será el tiempo de atención que requiere del operador.

En nuestro problema "El tiempo de atención del operador (la máquina está fuera de servicio o requiere servicio) a intervalos irregulares es 40% en promedio" entonces

$$p = 0.4$$

Por consecuencia al ser esta una probabilidad binomial $\boldsymbol{q}$ será igual a $\mathbf{1} - \boldsymbol{p}$

$$q = 1 - 0.4 = 0.6$$

El problema enuncia "El analista estima que deben asignarse tres tornos de torreta por operador" esto nos indica que analizaremos

$$n = 3 \text{ máquinas.}$$

$\boldsymbol{m}$ es una variable de conteo, es decir que varía desde cero hasta el número máximo que es $\boldsymbol{n}$, entonces:

$$m = 0, 1, 2, 3$$

En esta configuración, la probabilidad de que m (de n) máquinas estén fuera de servicio se calcula mediante la distribución binomial:

$$\boldsymbol{P(m\ de\ n) = \frac{n!}{m!\,(n\ - m)!}\, p^{m}\, q^{n-m}}$$

| **Máquinas fuera de servicio *m*** | **Probabilidad** |
| --- | --- |
| 0 | $\frac{3!}{0!(3-0)!}(0.4^0)\,(0.6^3) = (1)(1)(0.216) = 0.216$ |
| 1 | $\frac{3!}{1!(3-1)!}(0.4^1)\,(0.6^2) = (3)(0.4)(0.36) = 0.432$ |
| 2 | $\frac{3!}{2!(3-2)!}(0.4^2)\,(0.6^1) = (3)(0.16)(0.6) = 0.288$ |
| 3 | $\frac{3!}{3!(3-3)!}(0.4^3)\,(0.6^0) = (1)(0.064)(1) = 0.064$ |

| Núm. de máquinas fuera de servicio | Probabilidad | Horas máquina perdidas en un día de 8 horas |
|---|---|---|
| 0 | 0.216 | 0 |
| 1 | 0.432 | 0* |
| 2 | 0.288 | (0.288)(8) = 2.304 |
| 3 | 0.064 | (2)(0.064)(8) = 1.024 |
| | 1.000 | 3.328 |

*Puesto que sólo una máquina está fuera de servicio a la vez, el operador puede atender la máquina que está en esa situación.

Mediante el uso de este método puede determinarse la proporción del tiempo en la que algunas máquinas están fuera de servicio y el tiempo perdido resultante de un operador de tres máquinas puede calcularse fácilmente.

$$\text{Proporción del tiempo perdido por máquina} = \frac{3.328 \text{ horas}}{3 \text{ maq} * 8 \text{ horas}} = 13.9\ \%$$

Se pueden hacer cálculos similares en el caso de más o menos asignaciones de máquinas, con el fin de determinar la asignación que da como resultado el menor tiempo fuera de servicio de éstas.

La asignación más satisfactoria es generalmente la configuración que tenga el menor costo total esperado por pieza, mientras que el costo esperado total por pieza de una configuración dada se calcula mediante la expresión:

$$TEC = \frac{K_1 + nK_2}{R}$$

donde

- $K_1$ = velocidad del operador en horas
- $K_2$ = velocidad de la máquina en horas
- n = número de máquinas asignadas
- R = velocidad de producción, piezas de n máquinas por hora

**La velocidad de producción, en piezas por hora, de n máquinas se calcula con el tiempo promedio de máquina que se requiere por pieza, el tiempo promedio de servicio de máquina por pieza y el tiempo muerto esperado o tiempo perdido por hora.**

Por ejemplo, con la ayuda de un operador al que se le han asignado cinco máquinas, un analista puede determinar que el tiempo de maquinado por pieza fue de 0.82 h, el tiempo de servicio a la máquina por pieza fue de 0.17 horas y el tiempo perdido por máquina fue en promedio de 0.11 horas por hora. Por lo tanto, cada máquina estuvo disponible para realizar trabajo productivo solamente 0.89 horas cada hora (1 – 0.11 de hora). El tiempo promedio que se necesita para producir una pieza por máquina será de

$$\frac{0.82 + 0.17}{0.89} = 1.11$$

Si una máquina tarda 1.11 horas para una pieza, ((1/1.11)x 5) cinco máquinas producirán 4.5 piezas por hora. Con un costo operador-hora de \$12 y un costo hora-máquina de \$22, tenemos un costo total esperado por pieza de

$$\frac{\$12.00 + 5(\$22.00)}{4.5} = \$27.11$$

# RESOLVER

Un operador debe dar servicio a tres máquinas que tienen un tiempo fuera de servicio esperado de 40%.

Cuando está trabajando, cada máquina puede producir 60 unidades/hora.

Al operador se le paga $10.00/hora

Operar la máquina cuesta $60.00/hora.

¿Vale la pena contratar a otro operador para que mantenga a las máquinas en operación?

Caso A. Un operador

| Máquinas fuera de servicio $m$ | Probabilidad | Horas máquina perdidas por día de 8 horas |
|---|---|---|
| 0 | $\frac{3!}{0!\,3!}(0.4)^0(0.6)^3 = 0.216$ | 0 |
| 1 | $\frac{3!}{1!\,2!}(0.4)^1(0.6)^2 = 0.432$ | 0 |
| 2 | $\frac{3!}{2!\,1!}(0.4)^2(0.6)^1 = 0.288$ | $0.288 \times 8 = 2.304$ |
| 3 | $\frac{3!}{3!\,0!}(0.4)^3(0.6)^0 = 0.064$ | $0.064 \times 16 = 1.024$ |

Considerando que en un día de 8 horas se pierden un total de 3.328 horas productivas (2.304 + 1.024), sólo pueden producirse 1 240.3 unidades (20.672 × 60) a un promedio de 155.04 por hora. El costo unitario es

$$\text{TEC} = (10 + 3 \times 60)/155.04 = \$1.23/\text{unidad}$$

Caso B. Dos operadores

| Máquinas fuera de servicio $m$ | Probabilidad | Horas máquina perdidas por día de 8 horas |
|---|---|---|
| 0 | $\frac{3!}{0!\,3!}(0.4)^0(0.6)^3 = 0.216$ | 0 |
| 1 | $\frac{3!}{1!\,2!}(0.4)^1(0.6)^2 = 0.432$ | 0 |
| 2 | $\frac{3!}{2!\,1!}(0.4)^2(0.6)^1 = 0.288$ | 0 |
| 3 | $\frac{3!}{3!\,0!}(0.4)^3(0.6)^0 = 0.064$ | $0.064 \times 8 = 0.512$ |

Hay un mejoramiento considerable del caso A. Puesto que sólo se pierden 0.512 horas de producción en un día de 8 horas, la producción aumenta a 1 409.28 unidades (23.488 × 60), esto es, a un promedio de 176.16 por hora. El costo unitario es

$$\text{TEC} = (2 \times 10 + 2 \times 60)/176.16 = \$1.14/\text{unidad}$$

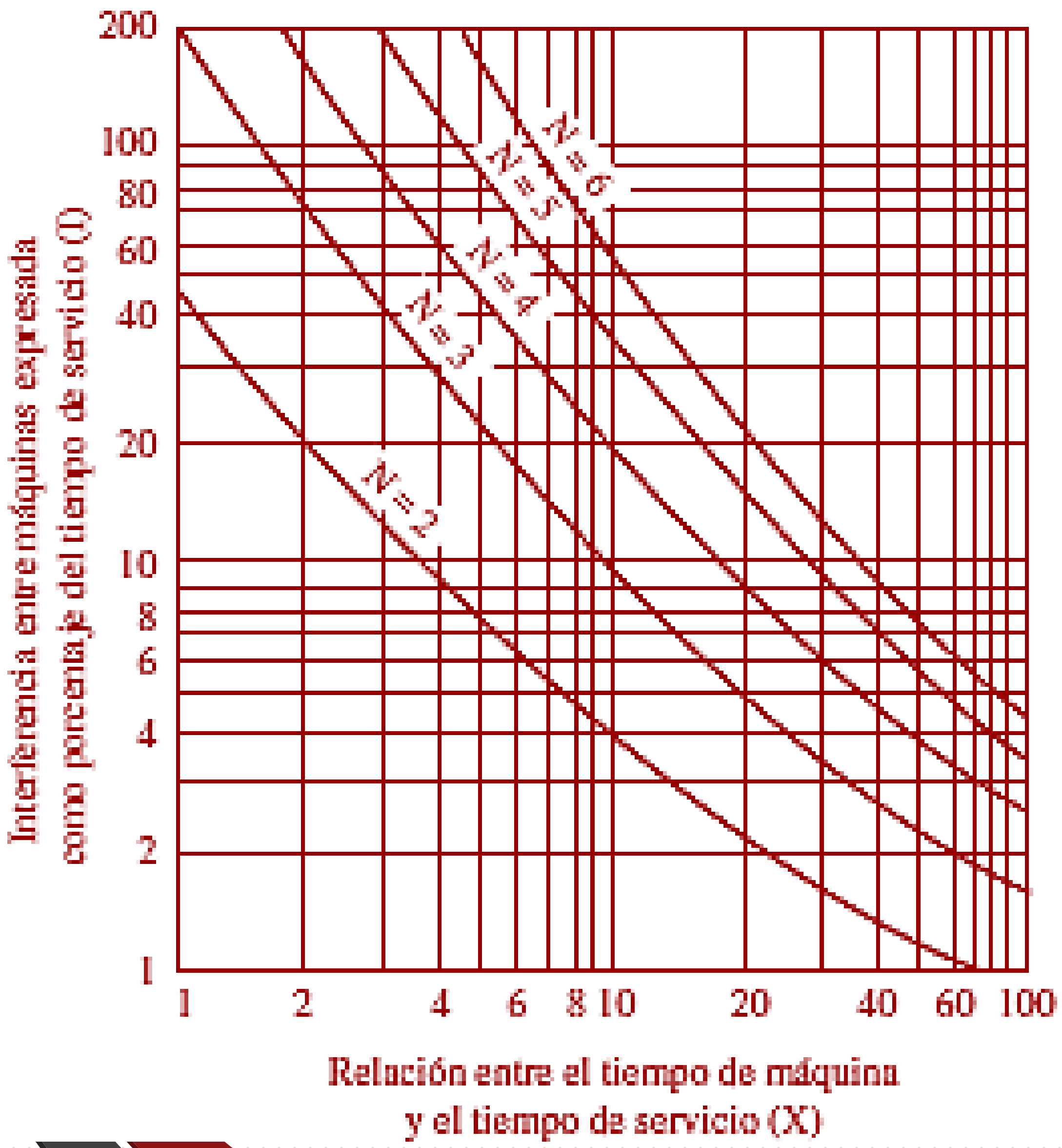
Por lo tanto, es más eficiente desde el punto de vista económico contratar a otro operador y mantener las máquinas en operación.

Observe que contratar a un tercer operador para mantener las tres máquinas operando todo el tiempo no sería eficiente desde el punto de vista de las economías que se podrían obtener. Aunque la producción total aumenta marginalmente, el costo total aumenta más y el costo unitario se calcula como sigue

$$\text{TEC} = (3 \times 10 + 3 \times 60)/180 = \$1.17/\text{unidad}$$

# RELACIONES COMPLEJAS

- Las combinaciones de servicio sincrónico y aleatorio son quizás el tipo más común de relación entre operador y máquina.
- En este caso, el tiempo de servicio es relativamente constante, a pesar de que las máquinas son operadas de manera aleatoria. Además, se supone que el tiempo entre fallas tiene una distribución particular.
- A medida que el número de máquinas aumenta y la relación entre el operador y la máquina se hace más compleja, la interferencia con la máquina y, como consecuencia, el tiempo de retardo, aumentan.
- En la práctica, la interferencia con la máquina predominantemente representa de 10 a 30% del tiempo total de trabajo, con valores extremos de hasta 50%.
- Se han desarrollado varios métodos para lidiar con dichas situaciones.




- Un  método supone una carga de trabajo esperada por el operador basada en el número de máquinas asignadas y en los tiempos promedio de operación de las máquinas y los tiempos promedios de servicio.
- Para un total de hasta seis máquinas, se recomienda el uso de las curvas empíricas que se muestran en la figura

La interferencia entre máquinas expresada como porcentaje del tiempo de servicio cuando el número de máquinas asignadas a un operador es seis o menor.

Para siete o más máquinas, puede utilizarse la fórmula de Wright (Wright, Dubai y Freeman, 1936):

$$I = 50\left\{\sqrt{[(1+X\ -N)^2+2N]}\ -(1+X\ -N)\right\}$$

Donde

- I = interferencia, expresada como el porcentaje del tiempo medio de servicio
- X = relación entre el tiempo promedio de operación de la máquina y el tiempo promedio de servicio de la máquina
- N = número de máquinas asignadas a un operador

# EJEMPLO RELACIONES COMPLEJAS

En la producción de plumas, a un operador se le asignan 60 ejes. El tiempo promedio de operación de la máquina por paquete, determinado mediante un estudio con cronómetro, es de 150 minutos.

El tiempo promedio estándar de servicio por paquete, también desarrollado mediante un estudio de tiempos, es de 3 minutos.

Calcule la interferencia con la máquina, expresado como un porcentaje del tiempo promedio de atención del operador.

I = interferencia, expresada como el porcentaje del tiempo medio de servicio

X = relación entre el tiempo promedio de operación de la máquina y el tiempo promedio de servicio de la máquina

X= 150 minutos de maquina por paquete/3 minutos de servicio de máquina por paquete

N = número de máquinas asignadas a un operador

N= 60 ejes

$$I = 50\left\{\sqrt{[(1+X-N)^2+2N]} - (1+X-N)\right\}$$

$$I = 50\left\{\sqrt{\left[\left(1+\frac{150}{3}-60\right)^2+2*60\right]} - \left(1+\frac{150}{3}-60\right)\right\}$$

$$I = 11.59\%$$

Tiempo de interferencia con la máquina 11.59 × 3.0 = 34.8 min

# Método de Ashcroft

Usando la teoría de colas, y suponiendo que el lapso de tiempo entre los tiempos muertos tiene una distribución exponencial, Ashcroft desarrolló tablas para determinar los tiempos de interferencia de las máquinas.

Estos tiempos se muestran en la tabla de la siguiente diapositiva y proporcionan valores de tiempo de operación de las máquinas y de tiempo de interferencia entre ellas para valores de la relación de servicio $k$:

$$k = l/m$$

donde $l$ = tiempo de servicio

$m$ = tiempo de operación de las máquinas

El tiempo total del ciclo para producir una pieza es:

$$C = m + l + i$$

donde $c$ = tiempo total del ciclo

$i$ = tiempo de interferencia con las máquinas

Cualquier tiempo de desplazamiento o tiempo de trabajador $w$ debe incluirse como parte del tiempo de servicio.

**Tabla A3.8** Tablas de tiempo interferencia de máquinas ($i$) y tiempo de operación de máquina ($m$) para constantes de servicio seleccionadas ($k = l/m$)

(Los valores se expresan como porcentaje del tiempo total, donde $m + l + i$ = 100%)

| $n$ | (a) $i$ | (a) $m$ | (b) $i$ | (b) $m$ |
|---|---|---|---|---|
| **$k$ = 0.01** | | | | |
| 1 | 0.0 | 99.0 | 0.0 | 99.0 |
| 10 | 0.1 | 99.0 | 0.1 | 98.9 |
| 20 | 0.1 | 98.9 | 0.2 | 98.8 |
| 30 | 0.2 | 98.8 | 0.4 | 98.6 |
| 40 | | | 0.6 | 98.4 |
| 50 | | | 0.9 | 98.1 |
| 60 | | | 1.3 | 97.8 |
| 70 | | | 1.8 | 97.2 |
| 80 | | | 2.7 | 96.3 |
| 85 | | | 3.4 | 95.7 |
| 90 | | | 4.2 | 94.9 |
| 95 | | | 5.2 | 93.8 |
| 100 | | | 6.7 | 92.4 |
| 105 | | | 8.5 | 90.6 |
| 110 | | | 10.7 | 88.4 |
| 115 | | | 13.4 | 85.8 |
| 120 | | | 16.3 | 82.9 |
| 121 | | | 16.9 | 82.3 |
| 122 | | | 17.5 | 81.7 |
| 123 | | | 18.1 | 81.1 |
| 124 | | | 18.8 | 80.4 |
| 125 | | | 19.4 | 79.8 |
| 126 | | | 20.0 | 79.2 |
| 127 | | | 20.6 | 78.6 |
| 128 | | | 21.2 | 78.1 |
| 129 | | | 21.8 | 77.5 |
| 130 | | | 22.4 | 76.9 |
| 131 | | | 22.9 | 76.3 |
| 132 | | | 23.5 | 75.7 |
| 133 | | | 24.1 | 75.2 |
| 134 | | | 24.6 | 74.6 |
| 135 | | | 25.2 | 74.1 |
| 136 | | | 25.7 | 73.5 |
| 137 | | | 26.3 | 73.0 |
| 138 | | | 26.8 | 72.5 |
| 139 | | | 27.3 | 71.9 |
| 140 | | | 27.9 | 71.4 |
| 141 | | | 28.4 | 70.9 |
| 142 | | | 28.9 | 70.4 |
| 143 | | | 29.4 | 69.9 |
| 144 | | | 29.9 | 69.4 |
| **$k$ = 0.02** | | | | |
| 1 | 0.0 | 98.0 | 0.0 | 98.0 |
| 5 | 0.1 | 98.0 | 0.2 | 97.9 |
| **$k$ = 0.02 (cont.)** | | | | |
| 10 | 0.2 | 97.8 | 0.4 | 97.6 |
| 15 | 0.4 | 97.7 | 0.7 | 97.4 |
| 20 | 0.6 | 97.5 | 1.1 | 97.0 |
| 25 | 0.8 | 97.2 | 1.6 | 96.5 |
| 30 | 1.2 | 96.9 | 2.2 | 95.9 |
| 35 | | | 3.1 | 95.0 |
| 40 | | | 4.3 | 93.8 |
| 45 | | | 6.1 | 92.0 |
| 50 | | | 8.7 | 89.5 |
| 51 | | | 9.3 | 88.9 |
| 52 | | | 10.0 | 88.3 |
| 53 | | | 10.7 | 87.6 |
| 54 | | | 11.5 | 86.8 |
| 55 | | | 12.3 | 86.0 |
| 56 | | | 13.1 | 85.2 |
| 57 | | | 14.0 | 84.3 |
| 58 | | | 14.9 | 83.4 |
| 59 | | | 15.9 | 82.5 |
| 60 | | | 16.8 | 81.5 |
| 61 | | | 17.9 | 80.5 |
| 62 | | | 18.9 | 79.5 |
| 63 | | | 19.9 | 78.5 |
| 64 | | | 21.0 | 77.5 |
| 65 | | | 22.0 | 76.4 |
| 66 | | | 23.1 | 75.4 |
| 67 | | | 24.2 | 74.4 |
| 68 | | | 25.2 | 73.3 |
| 69 | | | 26.2 | 72.3 |
| 70 | | | 27.2 | 71.3 |
| 71 | | | 28.2 | 70.4 |
| 72 | | | 29.2 | 69.4 |
| **$k$ = 0.03** | | | | |
| 1 | 0.0 | 97.1 | 0.0 | 97.1 |
| 5 | 0.2 | 96.9 | 0.4 | 96.7 |
| 10 | 0.5 | 96.6 | 1.0 | 96.2 |
| 15 | 1.0 | 96.2 | 1.8 | 95.4 |
| 20 | 1.6 | 95.5 | 3.0 | 94.2 |
| 25 | 2.8 | 94.4 | 4.7 | 92.5 |
| 26 | 3.1 | 94.1 | 5.2 | 92.1 |
| 27 | 3.4 | 93.7 | 5.7 | 91.6 |
| 28 | 3.8 | 93.4 | 6.2 | 91.1 |
| 29 | 4.3 | 92.9 | 6.8 | 90.5 |
| 30 | 4.8 | 92.4 | 7.4 | 89.9 |
| 31 | | | 8.1 | 89.2 |
| **$k$ = 0.03 (cont.)** | | | | |
| 32 | | | 8.9 | 88.5 |
| 33 | | | 9.7 | 87.7 |
| 34 | | | 10.6 | 86.8 |
| 35 | | | 11.6 | 85.9 |
| 36 | | | 12.6 | 84.9 |
| 37 | | | 13.7 | 83.8 |
| 38 | | | 14.9 | 86.8 |
| 39 | | | 16.1 | 81.4 |
| 40 | | | 17.4 | 80.2 |
| 41 | | | 18.8 | 78.9 |
| 42 | | | 20.1 | 77.5 |
| 43 | | | 21.6 | 76.2 |
| 44 | | | 23.0 | 74.8 |
| 45 | | | 24.4 | 73.4 |
| 46 | | | 25.9 | 72.0 |
| 47 | | | 27.3 | 70.6 |
| 48 | | | 28.7 | 69.2 |
| **$k$ = 0.04** | | | | |
| 1 | 0.0 | 96.2 | 0.0 | 96.2 |
| 2 | 0.1 | 96.1 | 0.2 | 96.0 |
| 3 | 0.2 | 96.0 | 0.3 | 95.9 |
| 4 | 0.2 | 95.9 | 0.5 | 95.7 |
| 5 | 0.3 | 95.8 | 0.7 | 95.5 |
| 6 | 0.5 | 95.7 | 0.9 | 95.3 |
| 7 | 0.6 | 95.6 | 1.1 | 95.1 |
| 8 | 0.7 | 95.5 | 1.3 | 94.9 |
| 9 | 0.8 | 95.4 | 1.5 | 94.7 |
| 10 | 1.0 | 95.2 | 1.8 | 94.4 |
| 11 | 1.1 | 95.1 | 2.1 | 94.1 |
| 12 | 1.3 | 94.9 | 2.4 | 93.8 |
| 13 | 1.5 | 94.7 | 2.8 | 93.5 |
| 14 | 1.8 | 94.5 | 3.2 | 93.1 |
| 15 | 2.0 | 94.2 | 3.6 | 92.7 |
| 16 | 2.3 | 94.0 | 4.0 | 92.3 |
| 17 | 2.6 | 93.6 | 4.5 | 91.8 |
| 18 | 3.0 | 93.3 | 5.1 | 91.3 |
| 19 | 3.4 | 92.9 | 5.7 | 90.7 |
| 20 | 3.9 | 92.4 | 6.4 | 90.0 |
| 21 | 4.5 | 91.8 | 7.1 | 89.3 |
| 22 | 5.2 | 91.2 | 8.0 | 88.5 |
| 23 | 6.0 | 90.4 | 8.9 | 87.6 |
| 24 | 6.8 | 89.6 | 9.9 | 86.7 |
| 25 | 7.9 | 88.6 | 11.0 | 85.6 |
| 26 | 9.0 | 87.5 | 12.2 | 84.5 |
| **$k$ = 0.04 (cont.)** | | | | |
| 27 | 10.4 | 86.2 | 13.4 | 83.2 |
| 28 | 11.9 | 84.7 | 14.8 | 81.9 |
| 29 | 13.6 | 83.0 | 16.3 | 80.5 |
| 30 | 15.5 | 81.3 | 17.9 | 79.0 |
| 31 | | | 19.6 | 77.4 |
| 32 | | | 21.3 | 75.7 |
| 33 | | | 23.0 | 74.0 |
| 34 | | | 24.8 | 72.3 |
| 35 | | | 26.6 | 70.6 |
| 36 | | | 28.4 | 68.9 |
| 37 | | | 30.1 | 67.2 |
| **$k$ = 0.05** | | | | |
| 1 | 0.0 | 95.2 | 0.0 | 95.2 |
| 2 | 0.1 | 95.1 | 0.2 | 95.0 |
| 3 | 0.2 | 95.0 | 0.5 | 94.8 |
| 4 | 0.4 | 94.9 | 0.7 | 94.5 |
| 5 | 0.5 | 94.7 | 1.0 | 94.3 |
| 6 | 0.7 | 94.6 | 1.4 | 94.0 |
| 7 | 0.9 | 94.4 | 1.7 | 93.6 |
| 8 | 1.1 | 94.2 | 2.1 | 93.3 |
| 9 | 1.4 | 93.9 | 2.5 | 92.9 |
| 10 | 1.6 | 93.7 | 3.0 | 92.4 |
| 11 | 2.0 | 93.4 | 3.5 | 91.9 |
| 12 | 2.3 | 93.0 | 4.1 | 91.4 |
| 13 | 2.7 | 92.6 | 4.7 | 90.8 |
| 14 | 3.2 | 92.2 | 5.4 | 90.1 |
| 15 | 3.8 | 91.7 | 6.2 | 89.3 |
| 16 | 4.4 | 91.0 | 7.1 | 88.5 |
| 17 | 5.2 | 90.3 | 8.1 | 87.6 |
| 18 | 6.1 | 89.5 | 9.1 | 86.5 |
| 19 | 7.1 | 88.5 | 10.4 | 85.4 |
| 20 | 8.4 | 87.3 | 11.7 | 84.1 |
| 21 | 9.8 | 85.9 | 13.1 | 82.7 |
| 22 | 11.5 | 84.3 | 14.7 | 81.2 |
| 23 | 13.4 | 82.5 | 16.5 | 79.6 |
| 24 | 15.5 | 80.5 | 18.3 | 77.8 |
| 25 | 17.8 | 78.2 | 20.2 | 76.0 |
| 26 | 20.3 | 75.9 | 22.2 | 74.1 |
| 27 | 22.8 | 73.6 | 24.3 | 72.1 |
| 28 | 25.3 | 71.2 | 26.4 | 70.1 |
| 29 | 27.9 | 68.8 | 28.5 | 68.1 |
| **$k$ = 0.06** | | | | |
| 1 | 0.0 | 94.3 | 0.0 | 94.3 |
| 2 | 0.2 | 94.2 | 0.3 | 94.0 |
| **$k$ = 0.06 (cont.)** | | | | |
| 3 | 0.4 | 94.0 | 0.7 | 93.7 |
| 4 | 0.6 | 93.8 | 1.1 | 93.3 |
| 5 | 0.8 | 93.6 | 1.5 | 92.9 |
| 6 | 1.1 | 93.3 | 2.0 | 92.5 |
| 7 | 1.4 | 93.1 | 2.5 | 92.0 |
| 8 | 1.7 | 92.7 | 3.1 | 91.4 |
| 9 | 2.1 | 92.4 | 3.7 | 90.8 |
| 10 | 2.6 | 91.9 | 4.5 | 90.1 |
| 11 | 3.1 | 91.4 | 5.3 | 89.4 |
| 12 | 3.8 | 90.8 | 6.2 | 88.5 |
| 13 | 4.5 | 90.1 | 7.3 | 87.5 |
| 14 | 5.4 | 89.2 | 8.4 | 86.4 |
| 15 | 6.5 | 88.2 | 9.7 | 85.2 |
| 16 | 7.8 | 87.0 | 11.2 | 83.8 |
| 17 | 9.3 | 85.6 | 12.8 | 82.3 |
| 18 | 11.1 | 83.9 | 14.6 | 80.6 |
| 19 | 13.2 | 81.9 | 16.5 | 78.8 |
| 20 | 15.6 | 79.7 | 18.6 | 76.8 |
| 21 | | | 20.8 | 74.7 |
| 22 | | | 23.1 | 72.5 |
| 23 | | | 25.5 | 70.3 |
| 24 | | | 27.9 | 68.0 |
| 25 | | | 30.3 | 65.8 |
| **$k$ = 0.07** | | | | |
| 1 | 0.0 | 93.5 | 0.0 | 93.5 |
| 2 | 0.2 | 93.2 | 0.4 | 93.1 |
| 3 | 0.5 | 93.0 | 0.9 | 92.6 |
| 4 | 0.8 | 92.7 | 1.4 | 92.1 |
| 5 | 1.1 | 92.4 | 2.0 | 91.6 |
| 6 | 1.5 | 92.1 | 2.7 | 91.0 |
| 7 | 1.9 | 91.7 | 3.4 | 90.3 |
| 8 | 2.4 | 91.2 | 4.3 | 89.5 |
| 9 | 3.1 | 90.6 | 5.2 | 88.6 |
| 10 | 3.8 | 89.9 | 6.3 | 87.6 |
| 11 | 4.7 | 89.1 | 7.5 | 86.4 |
| 12 | 5.7 | 88.1 | 8.9 | 85.1 |
| 13 | 7.0 | 86.9 | 10.4 | 83.7 |
| 14 | 8.6 | 85.4 | 12.2 | 82.1 |
| 15 | 10.4 | 83.7 | 14.1 | 80.3 |
| 16 | 12.6 | 81.6 | 16.2 | 78.3 |
| 17 | 15.2 | 79.3 | 18.5 | 76.2 |
| 18 | 18.1 | 76.6 | 21.0 | 73.9 |
| 19 | 21.1 | 73.7 | 23.5 | 71.5 |
| 20 | 24.4 | 70.7 | 26.2 | 69.0 |
| 21 | | | 28.9 | 66.5 |
| **$k$ = 0.08** | | | | |
| 1 | 0.0 | 92.6 | 0.0 | 92.6 |
| 2 | 0.3 | 92.3 | 0.5 | 92.1 |
| 3 | 0.6 | 92.0 | 1.2 | 91.5 |
| 4 | 1.0 | 91.7 | 1.9 | 90.9 |
| 5 | 1.4 | 91.2 | 2.7 | 90.1 |
| 6 | 2.0 | 90.8 | 3.5 | 89.3 |
| 7 | 2.6 | 90.2 | 4.5 | 88.4 |
| 8 | 3.4 | 89.5 | 5.7 | 87.3 |
| 9 | 4.3 | 88.6 | 7.0 | 86.1 |
| 10 | 5.4 | 87.6 | 8.5 | 84.8 |
| 11 | 6.7 | 86.4 | 10.1 | 83.2 |
| 12 | 8.4 | 84.8 | 12.0 | 81.4 |
| 13 | 10.4 | 83.0 | 14.2 | 79.5 |
| 14 | 12.8 | 80.8 | 16.5 | 77.3 |
| 15 | 15.6 | 78.2 | 19.0 | 75.0 |
| 16 | 18.8 | 75.2 | 21.8 | 72.4 |
| 17 | 22.2 | 72.0 | 24.6 | 69.8 |
| 18 | 25.7 | 68.8 | 27.6 | 67.1 |
| 19 | 28.2 | 66.5 | 30.5 | 64.4 |
| **$k$ = 0.09** | | | | |
| 1 | 0.0 | 91.5 | 0.0 | 91.7 |
| 2 | 0.4 | 91.4 | 0.7 | 91.1 |
| 3 | 0.8 | 91.0 | 1.4 | 90.4 |
| 4 | 1.3 | 90.6 | 2.3 | 89.6 |
| 5 | 1.9 | 90.0 | 3.3 | 88.7 |
| 6 | 2.6 | 89.4 | 4.5 | 87.7 |
| 7 | 3.4 | 88.6 | 5.8 | 86.5 |
| 8 | 4.5 | 87.6 | 7.3 | 85.1 |
| 9 | 5.7 | 86.5 | 9.0 | 83.5 |
| 10 | 7.3 | 85.0 | 10.9 | 81.7 |
| 11 | 9.3 | 83.2 | 13.1 | 79.7 |
| 12 | 11.7 | 81.0 | 15.6 | 77.5 |
| 13 | 14.5 | 78.4 | 18.3 | 75.0 |
| 14 | 17.8 | 75.4 | 21.2 | 72.3 |
| 15 | 21.5 | 72.0 | 24.2 | 69.5 |
| 16 | 25.3 | 68.5 | 27.4 | 66.6 |
| 17 | 29.2 | 65.0 | 30.6 | 63.7 |
| **$k$ = 0.10** | | | | |
| 1 | 0.0 | 90.9 | 0.0 | 90.9 |
| 2 | 0.4 | 90.5 | 0.8 | 90.2 |
| 3 | 1.0 | 90.0 | 1.8 | 89.3 |
| 4 | 1.6 | 89.5 | 2.8 | 88.3 |
| 5 | 2.3 | 88.8 | 4.1 | 87.2 |
| 6 | 2.2 | 88.0 | 5.5 | 85.9 |
| **$k$ = 0.10 (cont.)** | | | | |
| 7 | 4.4 | 86.9 | 7.1 | 84.4 |
| 8 | 5.8 | 85.7 | 9.0 | 82.7 |
| 9 | 7.5 | 84.1 | 11.2 | 80.8 |
| 10 | 9.7 | 82.1 | 13.6 | 78.5 |
| 11 | 12.4 | 79.8 | 16.3 | 76.1 |
| 12 | 15.6 | 76.8 | 19.3 | 73.4 |
| 13 | 19.2 | 73.4 | 22.5 | 70.4 |
| 14 | 23.3 | 69.8 | 25.9 | 67.4 |
| 15 | 27.4 | 66.0 | 29.4 | 64.2 |
| 16 | 31.5 | 62.0 | | |
| **$k$ = 0.15** | | | | |
| 1 | 0.0 | 87.0 | 0.0 | 87.0 |
| 2 | 0.9 | 86.2 | 1.7 | 85.5 |
| 3 | 2.1 | 85.1 | 3.6 | 83.8 |
| 4 | 3.9 | 83.8 | 6.0 | 81.8 |
| 5 | 5.5 | 82.2 | 8.7 | 79.4 |
| **$k$ = 0.15 (cont.)** | | | | |
| 6 | 8.0 | 80.0 | 11.8 | 76.7 |
| 7 | 11.2 | 72.2 | 15.4 | 73.5 |
| 8 | 15.2 | 73.7 | 19.5 | 70.0 |
| 9 | 20.1 | 69.5 | 23.8 | 66.2 |
| 10 | 25.5 | 64.8 | 28.4 | 62.3 |
| 11 | 31.0 | 60.0 | | |
| **$k$ = 0.20** | | | | |
| 1 | 0.0 | 83.3 | 0.0 | 83.3 |
| 2 | 1.5 | 82.0 | 2.7 | 81.1 |
| 3 | 3.6 | 80.4 | 5.9 | 78.4 |
| 4 | 6.3 | 78.1 | 9.8 | 75.2 |
| 5 | 10.0 | 75.0 | 14.2 | 71.5 |
| 6 | 14.7 | 71.1 | 19.2 | 67.4 |
| 7 | 20.6 | 66.2 | 24.6 | 62.8 |
| 8 | 27.3 | 60.6 | 30.3 | 58.1 |
| 9 | 32.6 | 56.1 | | |
| **$k$ = 0.30** | | | | |
| 1 | 0.0 | 76.9 | 0.0 | 76.9 |
| 2 | 3.0 | 74.6 | 5.1 | 73.0 |
| 3 | 7.4 | 71.3 | 11.1 | 68.4 |
| 4 | 13.3 | 66.7 | 18.0 | 63.1 |
| 5 | 21.1 | 60.7 | 25.4 | 57.4 |
| 6 | 29.9 | 53.9 | 33.0 | 51.6 |
| **$k$ = 0.40** | | | | |
| 1 | 0.0 | 71.4 | 0.0 | 71.4 |
| 2 | 4.8 | 68.0 | 7.5 | 66.0 |
| 3 | 11.8 | 63.0 | 16.3 | 59.8 |
| 4 | 21.2 | 56.3 | 25.6 | 53.1 |
| 5 | 31.9 | 48.6 | 34.9 | 46.5 |

# Cálculo de la interferencia entre máquinas mediante el uso del método de Ashcroft

Con base en el ejemplo anterior:

$k = l/m = 3 / 150 = 0.02$ n= 60

De la tabla del apéndice 3 libro de Niebel, con tiempo de servicio exponencial y $k = 0.02$ y n = 60, tenemos un tiempo de interferencia entre máquinas de 16.8% del tiempo del ciclo.

Tenemos $Ti = 0.168c$, donde $c$ es el tiempo del ciclo para producir una unidad por eje. Entonces,

$$c = m + l + i = 150 + 3 + 0.168c \qquad c = 184 \text{ minutos}$$

y

$$Ti = 0.168c = 30.9 \text{ minutos}$$

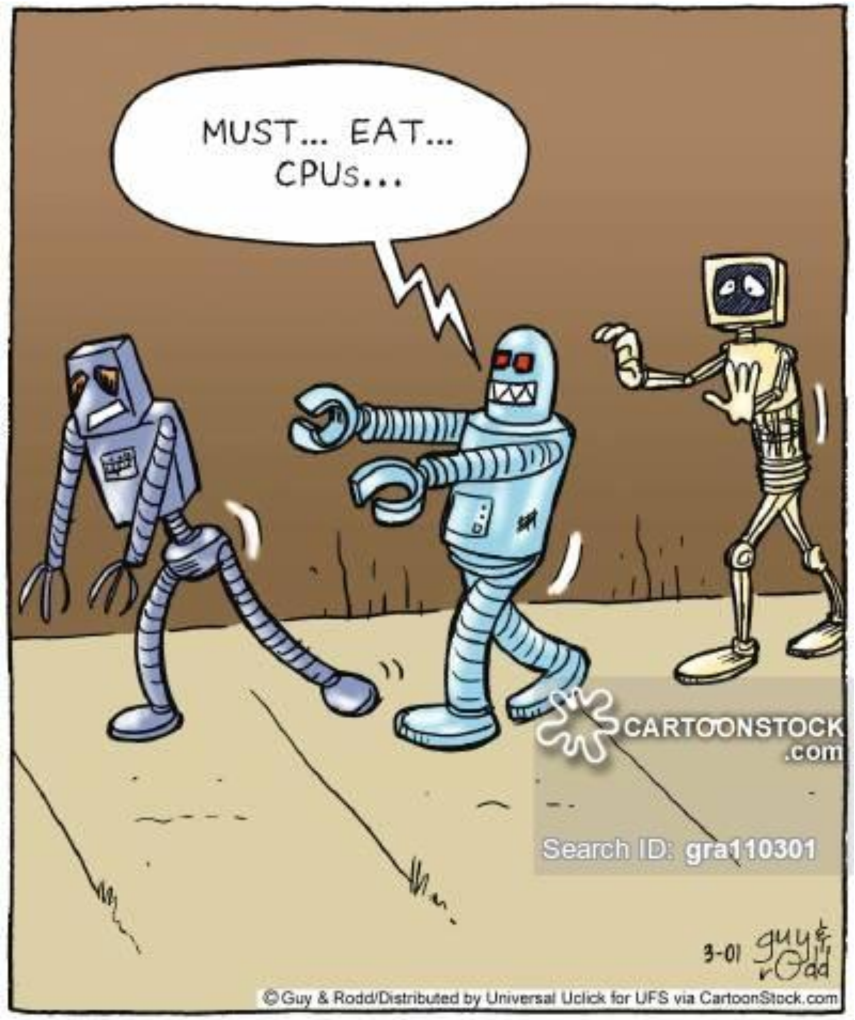
El tiempo de interferencia calculado mediante la la fórmula de Wright (34.8 minutos, ejemplo anterior) coincide en buena medida con el desarrollado aquí mediante el modelo de la teoría de colas.

Sin embargo, a medida que *n* (el número de máquinas asignadas) es menor, la diferencia proporcional entre las dos técnicas aumenta.

**Tabla A3.8** Tablas de tiempo interferencia de máquinas ($i$) y tiempo de operación de máquina ($m$) para constantes de servicio seleccionadas ($k = l/m$)
(Los valores se expresan como porcentaje del tiempo total, donde $m + l + i = 100\%$)

| | (a) | | (b) | | | (a) | | (b) | | | (a) | | (b) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $n$ | $i$ | $m$ | $i$ | $m$ | $n$ | $i$ | $m$ | $i$ | $m$ | $n$ | $i$ | $m$ | $i$ | $m$ |
| | | $k = 0.01$ | | | | | $k = 0.02$ (*cont.*) | | | | | $k = 0.03$ (*cont.*) | | |
| 1 | 0.0 | 99.0 | 0.0 | 99.0 | 10 | 0.2 | 97.8 | 0.4 | 97.6 | 32 | | | 8.9 | 88.5 |
| 10 | 0.1 | 99.0 | 0.1 | 98.9 | 15 | 0.4 | 97.7 | 0.7 | 97.4 | 33 | | | 9.7 | 87.7 |
| 20 | 0.1 | 98.9 | 0.2 | 98.8 | 20 | 0.6 | 97.5 | 1.1 | 97.0 | 34 | | | 10.6 | 86.8 |
| 30 | 0.2 | 98.8 | 0.4 | 98.6 | 25 | 0.8 | 97.2 | 1.6 | 96.5 | 35 | | | 11.6 | 85.9 |
| 40 | | | 0.6 | 98.4 | 30 | 1.2 | 96.9 | 2.2 | 95.9 | 36 | | | 12.6 | 84.9 |
| 50 | | | 0.9 | 98.1 | 35 | | | 3.1 | 95.0 | 37 | | | 13.7 | 83.8 |
| 60 | | | 1.3 | 97.8 | 40 | | | 4.3 | 93.8 | 38 | | | 14.9 | 86.8 |
| 70 | | | 1.8 | 97.2 | 45 | | | 6.1 | 92.0 | 39 | | | 16.1 | 81.4 |
| 80 | | | 2.7 | 96.3 | 50 | | | 8.7 | 89.5 | 40 | | | 17.4 | 80.2 |
| 85 | | | 3.4 | 95.7 | 51 | | | 9.3 | 88.9 | 41 | | | 18.8 | 78.9 |
| 90 | | | 4.2 | 94.9 | 52 | | | 10.0 | 88.3 | 42 | | | 20.1 | 77.5 |
| 95 | | | 5.2 | 93.8 | 53 | | | 10.7 | 87.6 | 43 | | | 21.6 | 76.2 |
| 100 | | | 6.7 | 92.4 | 54 | | | 11.5 | 86.8 | 44 | | | 23.0 | 74.8 |
| 105 | | | 8.5 | 90.6 | 55 | | | 12.3 | 86.0 | 45 | | | 24.4 | 73.4 |
| 110 | | | 10.7 | 88.4 | 56 | | | 13.1 | 85.2 | 46 | | | 25.9 | 72.0 |
| 115 | | | 13.4 | 85.8 | 57 | | | 14.0 | 84.3 | 47 | | | 27.3 | 70.6 |
| 120 | | | 16.3 | 82.9 | 58 | | | 14.9 | 83.4 | 48 | | | 28.7 | 69.2 |
| 121 | | | 16.9 | 82.3 | 59 | | | 15.9 | 82.5 | | | | | |
| 122 | | | 17.5 | 81.7 | 60 | | | 16.8 | 81.5 | | | $k = 0.04$ | | |
| 123 | | | 18.1 | 81.1 | 61 | | | 17.9 | 80.5 | | | | | |
| 124 | | | 18.8 | 80.4 | 62 | | | 18.9 | 79.5 | 1 | 0.0 | 96.2 | 0.0 | 96.2 |
| 125 | | | 19.4 | 79.8 | 63 | | | 19.9 | 78.5 | 2 | 0.1 | 96.1 | 0.2 | 96.0 |
| 126 | | | 20.0 | 79.2 | 64 | | | 21.0 | 77.5 | 3 | 0.2 | 96.0 | 0.3 | 95.9 |
| 127 | | | 20.6 | 78.6 | 65 | | | 22.0 | 76.4 | 4 | 0.2 | 95.9 | 0.5 | 95.7 |

# FIN DE LA SEGUNDA PARTE



# INGENIERIA DE MÉTODOS I

Puedo lograr cualquier cosa que pueda imaginar.

Tengo a mi alcance todos los recursos que necesito para lograr mis objetivos.

Me decido por la búsqueda de la excelencia.

Logro mis metas de forma sencilla porque es un don que el universo me da con orgullo.

Me visualizo conquistando día a día los objetivos que me llevan al reconocimiento de mi generación.

# RELACIONES HOMBRE-MÁQUINA

PARTE III

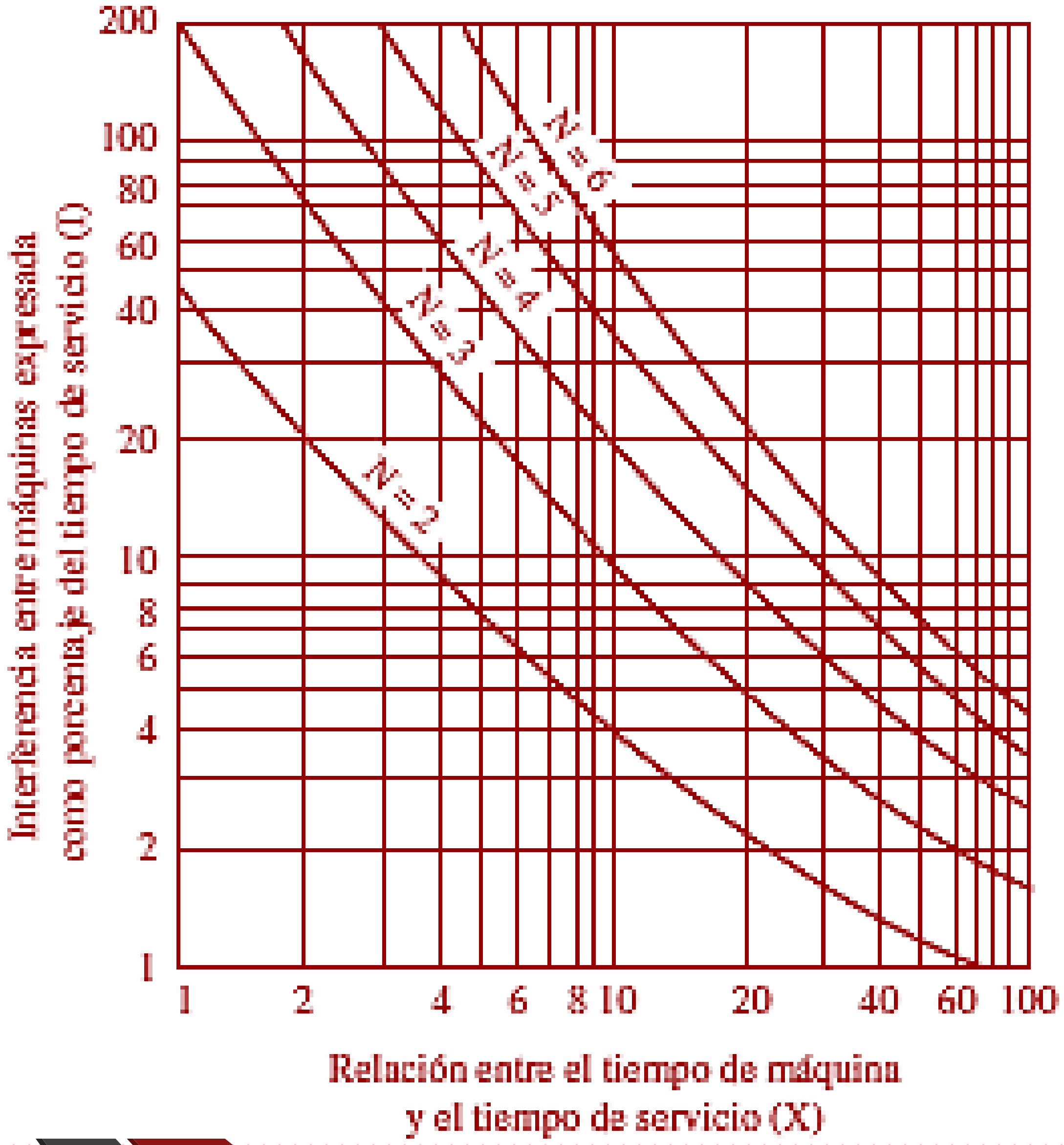
# Objetivos

- Conocer el tipo de servicio conocido como relación compleja
- Determinar la interferencia entre máquinas usando la fórmula de Wright
- Determinar la interferencia entre máquinas usando el método de Ashcroft

# RELACIONES COMPLEJAS

- Las combinaciones de servicio sincrónico y aleatorio son quizás el tipo más común de relación entre operador y máquina.
- En este caso, el tiempo de servicio es relativamente constante, a pesar de que las máquinas son operadas de manera aleatoria. Además, se supone que el tiempo entre fallas tiene una distribución particular.
- A medida que el número de máquinas aumenta y la relación entre el operador y la máquina se hace más compleja, la interferencia con la máquina y, como consecuencia, el tiempo de retardo, aumentan.

- Se han desarrollado varios métodos para lidiar con dichas situaciones.




- Un  método supone una carga de trabajo esperada por el operador basada en el número de máquinas asignadas y en los tiempos promedio de operación de las máquinas y los tiempos promedios de servicio.
- Para un total de hasta seis máquinas, se recomienda el uso de las curvas empíricas que se muestran en la figura

La interferencia entre máquinas expresada como porcentaje del tiempo de servicio cuando el número de máquinas asignadas a un operador es seis o menor.

Para siete o más máquinas, puede utilizarse la fórmula de Wright (Wright, Dubai y Freeman, 1936):

$$I = 50\left\{\sqrt{[(1 + X - N)^2 + 2N]} - (1 + X - N)\right\}$$

Donde

- I = interferencia, expresada como el porcentaje del tiempo medio de servicio
- X = relación entre el tiempo promedio de operación de la máquina y el tiempo promedio de servicio de la máquina
- N = número de máquinas asignadas a un operador

# EJEMPLO RELACIONES COMPLEJAS

En la producción de plumas, a un operador se le asignan 60 ejes. El tiempo promedio de operación de la máquina por paquete, determinado mediante un estudio con cronómetro, es de 150 minutos.

El tiempo promedio estándar de servicio por paquete, también desarrollado mediante un estudio de tiempos, es de 3 minutos.

Calcule la interferencia con la máquina, expresado como un porcentaje del tiempo promedio de atención del operador.

I = interferencia, expresada como el porcentaje del tiempo medio de servicio

X = relación entre el tiempo promedio de operación de la máquina y el tiempo promedio de servicio de la máquina

X= 150 minutos de maquina por paquete/3 minutos de servicio de máquina por paquete

N = número de máquinas asignadas a un operador

N= 60 ejes

$$I = 50\left\{\sqrt{[(1+X\ -N)^2 + 2N]}\ -(1+X\ -N)\right\}$$

$$I = 50\left\{\sqrt{\left[\left(1+\frac{150}{3}-60\right)^2 + 2*60\right]}\ -\left(1+\frac{150}{3}-60\right)\right\}$$

$$I = 11.59\%$$

Tiempo de interferencia con la máquina 11.59 × 3.0 = 34.8 min

# Método de Ashcroft

Usando la teoría de colas, y suponiendo que el lapso de tiempo entre los tiempos muertos tiene una distribución exponencial, Ashcroft desarrolló tablas para determinar los tiempos de interferencia de las máquinas.

Estos tiempos se muestran en la tabla de la siguiente diapositiva y proporcionan valores de tiempo de operación de las máquinas y de tiempo de interferencia entre ellas para valores de la relación de servicio $k$:

$$k = l/m$$

donde $l$ = tiempo de servicio

$m$ = tiempo de operación de las máquinas

El tiempo total del ciclo para producir una pieza es:

$$C = m + l + i$$

donde $c$ = tiempo total del ciclo

$i$ = tiempo de interferencia con las máquinas

Cualquier tiempo de desplazamiento o tiempo de trabajador $w$ debe incluirse como parte del tiempo de servicio.

# Método de Ashcroft

**Tabla A3.8** Tablas de tiempo interferencia de máquinas ($i$) y tiempo de operación de máquina ($m$) para constantes de servicio seleccionadas ($k = l/m$)
(Los valores se expresan como porcentaje del tiempo total, donde $m + l + i = 100\%$)

**$k = 0.01$**

| n | (a) i | (a) m | (b) i | (b) m |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.0 | 99.0 | 0.0 | 99.0 |
| 10 | 0.1 | 99.0 | 0.1 | 98.9 |
| 20 | 0.1 | 98.9 | 0.2 | 98.8 |
| 30 | 0.2 | 98.8 | 0.4 | 98.6 |
| 40 | | | 0.6 | 98.4 |
| 50 | | | 0.9 | 98.1 |
| 60 | | | 1.3 | 97.8 |
| 70 | | | 1.8 | 97.2 |
| 80 | | | 2.7 | 96.3 |
| 85 | | | 3.4 | 95.7 |
| 90 | | | 4.2 | 94.9 |
| 95 | | | 5.2 | 93.8 |
| 100 | | | 6.7 | 92.4 |
| 105 | | | 8.5 | 90.6 |
| 110 | | | 10.7 | 88.4 |
| 115 | | | 13.4 | 85.8 |
| 120 | | | 16.3 | 82.9 |
| 121 | | | 16.9 | 82.3 |
| 122 | | | 17.5 | 81.7 |
| 123 | | | 18.1 | 81.1 |
| 124 | | | 18.8 | 80.4 |
| 125 | | | 19.4 | 79.8 |
| 126 | | | 20.0 | 79.2 |
| 127 | | | 20.6 | 78.6 |
| 128 | | | 21.2 | 78.1 |
| 129 | | | 21.8 | 77.5 |
| 130 | | | 22.4 | 76.9 |
| 131 | | | 22.9 | 76.3 |
| 132 | | | 23.5 | 75.7 |
| 133 | | | 24.1 | 75.2 |
| 134 | | | 24.6 | 74.6 |
| 135 | | | 25.2 | 74.1 |
| 136 | | | 25.7 | 73.5 |
| 137 | | | 26.3 | 73.0 |
| 138 | | | 26.8 | 72.5 |
| 139 | | | 27.3 | 71.9 |
| 140 | | | 27.9 | 71.4 |
| 141 | | | 28.4 | 70.9 |
| 142 | | | 28.9 | 70.4 |
| 143 | | | 29.4 | 69.9 |
| 144 | | | 29.9 | 69.4 |

**$k = 0.02$** / **$k = 0.02$ (cont.)**

| n | (a) i | (a) m | (b) i | (b) m |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.0 | 98.0 | 0.0 | 98.0 |
| 5 | 0.1 | 98.0 | 0.2 | 97.9 |
| 10 | 0.2 | 97.8 | 0.4 | 97.6 |
| 15 | 0.4 | 97.7 | 0.7 | 97.4 |
| 20 | 0.6 | 97.5 | 1.1 | 97.0 |
| 25 | 0.8 | 97.2 | 1.6 | 96.5 |
| 30 | 1.2 | 96.9 | 2.2 | 95.9 |
| 35 | | | 3.1 | 95.0 |
| 40 | | | 4.3 | 93.8 |
| 45 | | | 6.1 | 92.0 |
| 50 | | | 8.7 | 89.5 |
| 51 | | | 9.3 | 88.9 |
| 52 | | | 10.0 | 88.3 |
| 53 | | | 10.7 | 87.6 |
| 54 | | | 11.5 | 86.8 |
| 55 | | | 12.3 | 86.0 |
| 56 | | | 13.1 | 85.2 |
| 57 | | | 14.0 | 84.3 |
| 58 | | | 14.9 | 83.4 |
| 59 | | | 15.9 | 82.5 |
| 60 | | | 16.8 | 81.5 |
| 61 | | | 17.9 | 80.5 |
| 62 | | | 18.9 | 79.5 |
| 63 | | | 19.9 | 78.5 |
| 64 | | | 21.0 | 77.5 |
| 65 | | | 22.0 | 76.4 |
| 66 | | | 23.1 | 75.4 |
| 67 | | | 24.2 | 74.4 |
| 68 | | | 25.2 | 73.3 |
| 69 | | | 26.2 | 72.3 |
| 70 | | | 27.2 | 71.3 |
| 71 | | | 28.2 | 70.4 |
| 72 | | | 29.2 | 69.4 |

**$k = 0.03$** / **$k = 0.03$ (cont.)**

| n | (a) i | (a) m | (b) i | (b) m |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.0 | 97.1 | 0.0 | 97.1 |
| 5 | 0.2 | 96.9 | 0.4 | 96.7 |
| 10 | 0.5 | 96.6 | 1.0 | 96.2 |
| 15 | 1.0 | 96.2 | 1.8 | 95.4 |
| 20 | 1.6 | 95.5 | 3.0 | 94.2 |
| 25 | 2.8 | 94.4 | 4.7 | 92.5 |
| 26 | 3.1 | 94.1 | 5.2 | 92.1 |
| 27 | 3.4 | 93.7 | 5.7 | 91.6 |
| 28 | 3.8 | 93.4 | 6.2 | 91.1 |
| 29 | 4.3 | 92.9 | 6.8 | 90.5 |
| 30 | 4.8 | 92.4 | 7.4 | 89.9 |
| 31 | | | 8.1 | 89.2 |
| 32 | | | 8.9 | 88.5 |
| 33 | | | 9.7 | 87.7 |
| 34 | | | 10.6 | 86.8 |
| 35 | | | 11.6 | 85.9 |
| 36 | | | 12.6 | 84.9 |
| 37 | | | 13.7 | 83.8 |
| 38 | | | 14.9 | 86.8 |
| 39 | | | 16.1 | 81.4 |
| 40 | | | 17.4 | 80.2 |
| 41 | | | 18.8 | 78.9 |
| 42 | | | 20.1 | 77.5 |
| 43 | | | 21.6 | 76.2 |
| 44 | | | 23.0 | 74.8 |
| 45 | | | 24.4 | 73.4 |
| 46 | | | 25.9 | 72.0 |
| 47 | | | 27.3 | 70.6 |
| 48 | | | 28.7 | 69.2 |

**$k = 0.04$** / **$k = 0.04$ (cont.)**

| n | (a) i | (a) m | (b) i | (b) m |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.0 | 96.2 | 0.0 | 96.2 |
| 2 | 0.1 | 96.1 | 0.2 | 96.0 |
| 3 | 0.2 | 96.0 | 0.3 | 95.9 |
| 4 | 0.2 | 95.9 | 0.5 | 95.7 |
| 5 | 0.3 | 95.8 | 0.7 | 95.5 |
| 6 | 0.5 | 95.7 | 0.9 | 95.3 |
| 7 | 0.6 | 95.6 | 1.1 | 95.1 |
| 8 | 0.7 | 95.5 | 1.3 | 94.9 |
| 9 | 0.8 | 95.4 | 1.5 | 94.7 |
| 10 | 1.0 | 95.2 | 1.8 | 94.4 |
| 11 | 1.1 | 95.1 | 2.1 | 94.1 |
| 12 | 1.3 | 94.9 | 2.4 | 93.8 |
| 13 | 1.5 | 94.7 | 2.8 | 93.5 |
| 14 | 1.8 | 94.5 | 3.2 | 93.1 |
| 15 | 2.0 | 94.2 | 3.6 | 92.7 |
| 16 | 2.3 | 94.0 | 4.0 | 92.3 |
| 17 | 2.6 | 93.6 | 4.5 | 91.8 |
| 18 | 3.0 | 93.3 | 5.1 | 91.3 |
| 19 | 3.4 | 92.9 | 5.7 | 90.7 |
| 20 | 3.9 | 92.4 | 6.4 | 90.0 |
| 21 | 4.5 | 91.8 | 7.1 | 89.3 |
| 22 | 5.2 | 91.2 | 8.0 | 88.5 |
| 23 | 6.0 | 90.4 | 8.9 | 87.6 |
| 24 | 6.8 | 89.6 | 9.9 | 86.7 |
| 25 | 7.9 | 88.6 | 11.0 | 85.6 |
| 26 | 9.0 | 87.5 | 12.2 | 84.5 |
| 27 | 10.4 | 86.2 | 13.4 | 83.2 |
| 28 | 11.9 | 84.7 | 14.8 | 81.9 |
| 29 | 13.6 | 83.0 | 16.3 | 80.5 |
| 30 | 15.5 | 81.3 | 17.9 | 79.0 |
| 31 | | | 19.6 | 77.4 |
| 32 | | | 21.3 | 75.7 |
| 33 | | | 23.0 | 74.0 |
| 34 | | | 24.8 | 72.3 |
| 35 | | | 26.6 | 70.6 |
| 36 | | | 28.4 | 68.9 |
| 37 | | | 30.1 | 67.2 |

**$k = 0.05$**

| n | (a) i | (a) m | (b) i | (b) m |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.0 | 95.2 | 0.0 | 95.2 |
| 2 | 0.1 | 95.1 | 0.2 | 95.0 |
| 3 | 0.2 | 95.0 | 0.5 | 94.8 |
| 4 | 0.4 | 94.9 | 0.7 | 94.5 |
| 5 | 0.5 | 94.7 | 1.0 | 94.3 |
| 6 | 0.7 | 94.6 | 1.4 | 94.0 |
| 7 | 0.9 | 94.4 | 1.7 | 93.6 |
| 8 | 1.1 | 94.2 | 2.1 | 93.3 |
| 9 | 1.4 | 93.9 | 2.5 | 92.9 |
| 10 | 1.6 | 93.7 | 3.0 | 92.4 |
| 11 | 2.0 | 93.4 | 3.5 | 91.9 |
| 12 | 2.3 | 93.0 | 4.1 | 91.4 |
| 13 | 2.7 | 92.6 | 4.7 | 90.8 |
| 14 | 3.2 | 92.2 | 5.4 | 90.1 |
| 15 | 3.8 | 91.7 | 6.2 | 89.3 |
| 16 | 4.4 | 91.0 | 7.1 | 88.5 |
| 17 | 5.2 | 90.3 | 8.1 | 87.6 |
| 18 | 6.1 | 89.5 | 9.1 | 86.5 |
| 19 | 7.1 | 88.5 | 10.4 | 85.4 |
| 20 | 8.4 | 87.3 | 11.7 | 84.1 |
| 21 | 9.8 | 85.9 | 13.1 | 82.7 |
| 22 | 11.5 | 84.3 | 14.7 | 81.2 |
| 23 | 13.4 | 82.5 | 16.5 | 79.6 |
| 24 | 15.5 | 80.5 | 18.3 | 77.8 |
| 25 | 17.8 | 78.2 | 20.2 | 76.0 |
| 26 | 20.3 | 75.9 | 22.2 | 74.1 |
| 27 | 22.8 | 73.6 | 24.3 | 72.1 |
| 28 | 25.3 | 71.2 | 26.4 | 70.1 |
| 29 | 27.9 | 68.8 | 28.5 | 68.1 |

**$k = 0.06$** / **$k = 0.06$ (cont.)**

| n | (a) i | (a) m | (b) i | (b) m |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.0 | 94.3 | 0.0 | 94.3 |
| 2 | 0.2 | 94.2 | 0.3 | 94.0 |
| 3 | 0.4 | 94.0 | 0.7 | 93.7 |
| 4 | 0.6 | 93.8 | 1.1 | 93.3 |
| 5 | 0.8 | 93.6 | 1.5 | 92.9 |
| 6 | 1.1 | 93.3 | 2.0 | 92.5 |
| 7 | 1.4 | 93.1 | 2.5 | 92.0 |
| 8 | 1.7 | 92.7 | 3.1 | 91.4 |
| 9 | 2.1 | 92.4 | 3.7 | 90.8 |
| 10 | 2.6 | 91.9 | 4.5 | 90.1 |
| 11 | 3.1 | 91.4 | 5.3 | 89.4 |
| 12 | 3.8 | 90.8 | 6.2 | 88.5 |
| 13 | 4.5 | 90.1 | 7.3 | 87.5 |
| 14 | 5.4 | 89.2 | 8.4 | 86.4 |
| 15 | 6.5 | 88.2 | 9.7 | 85.2 |
| 16 | 7.8 | 87.0 | 11.2 | 83.8 |
| 17 | 9.3 | 85.6 | 12.8 | 82.3 |
| 18 | 11.1 | 83.9 | 14.6 | 80.6 |
| 19 | 13.2 | 81.9 | 16.5 | 78.8 |
| 20 | 15.6 | 79.7 | 18.6 | 76.8 |
| 21 | | | 20.8 | 74.7 |
| 22 | | | 23.1 | 72.5 |
| 23 | | | 25.5 | 70.3 |
| 24 | | | 27.9 | 68.0 |
| 25 | | | 30.3 | 65.8 |

**$k = 0.07$**

| n | (a) i | (a) m | (b) i | (b) m |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.0 | 93.5 | 0.0 | 93.5 |
| 2 | 0.2 | 93.2 | 0.4 | 93.1 |
| 3 | 0.5 | 93.0 | 0.9 | 92.6 |
| 4 | 0.8 | 92.7 | 1.4 | 92.1 |
| 5 | 1.1 | 92.4 | 2.0 | 91.6 |
| 6 | 1.5 | 92.1 | 2.7 | 91.0 |
| 7 | 1.9 | 91.7 | 3.4 | 90.3 |
| 8 | 2.4 | 91.2 | 4.3 | 89.5 |
| 9 | 3.1 | 90.6 | 5.2 | 88.6 |
| 10 | 3.8 | 89.9 | 6.3 | 87.6 |
| 11 | 4.7 | 89.1 | 7.5 | 86.4 |
| 12 | 5.7 | 88.1 | 8.9 | 85.1 |
| 13 | 7.0 | 86.9 | 10.4 | 83.7 |
| 14 | 8.6 | 85.4 | 12.2 | 82.1 |
| 15 | 10.4 | 83.7 | 14.1 | 80.3 |
| 16 | 12.6 | 81.6 | 16.2 | 78.3 |
| 17 | 15.2 | 79.3 | 18.5 | 76.2 |
| 18 | 18.1 | 76.6 | 21.0 | 73.9 |
| 19 | 21.1 | 73.7 | 23.5 | 71.5 |
| 20 | 24.4 | 70.7 | 26.2 | 69.0 |
| 21 | | | 28.9 | 66.5 |

**$k = 0.08$**

| n | (a) i | (a) m | (b) i | (b) m |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.0 | 92.6 | 0.0 | 92.6 |
| 2 | 0.3 | 92.3 | 0.5 | 92.1 |
| 3 | 0.6 | 92.0 | 1.2 | 91.5 |
| 4 | 1.0 | 91.7 | 1.9 | 90.9 |
| 5 | 1.4 | 91.2 | 2.7 | 90.1 |
| 6 | 2.0 | 90.8 | 3.5 | 89.3 |
| 7 | 2.6 | 90.2 | 4.5 | 88.4 |
| 8 | 3.4 | 89.5 | 5.7 | 87.3 |
| 9 | 4.3 | 88.6 | 7.0 | 86.1 |
| 10 | 5.4 | 87.6 | 8.5 | 84.8 |
| 11 | 6.7 | 86.4 | 10.1 | 83.2 |
| 12 | 8.4 | 84.8 | 12.0 | 81.4 |
| 13 | 10.4 | 83.0 | 14.2 | 79.5 |
| 14 | 12.8 | 80.8 | 16.5 | 77.3 |
| 15 | 15.6 | 78.2 | 19.0 | 75.0 |
| 16 | 18.8 | 75.2 | 21.8 | 72.4 |
| 17 | 22.2 | 72.0 | 24.6 | 69.8 |
| 18 | 25.7 | 68.8 | 27.6 | 67.1 |
| 19 | 28.2 | 66.5 | 30.5 | 64.4 |

**$k = 0.09$**

| n | (a) i | (a) m | (b) i | (b) m |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.0 | 91.5 | 0.0 | 91.7 |
| 2 | 0.4 | 91.4 | 0.7 | 91.1 |
| 3 | 0.8 | 91.0 | 1.4 | 90.4 |
| 4 | 1.3 | 90.6 | 2.3 | 89.6 |
| 5 | 1.9 | 90.0 | 3.3 | 88.7 |
| 6 | 2.6 | 89.4 | 4.5 | 87.7 |
| 7 | 3.4 | 88.6 | 5.8 | 86.5 |
| 8 | 4.5 | 87.6 | 7.3 | 85.1 |
| 9 | 5.7 | 86.5 | 9.0 | 83.5 |
| 10 | 7.3 | 85.0 | 10.9 | 81.7 |
| 11 | 9.3 | 83.2 | 13.1 | 79.7 |
| 12 | 11.7 | 81.0 | 15.6 | 77.5 |
| 13 | 14.5 | 78.4 | 18.3 | 75.0 |
| 14 | 17.8 | 75.4 | 21.2 | 72.3 |
| 15 | 21.5 | 72.0 | 24.2 | 69.5 |
| 16 | 25.3 | 68.5 | 27.4 | 66.6 |
| 17 | 29.2 | 65.0 | 30.6 | 63.7 |

**$k = 0.10$** / **$k = 0.10$ (cont.)**

| n | (a) i | (a) m | (b) i | (b) m |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.0 | 90.9 | 0.0 | 90.9 |
| 2 | 0.4 | 90.5 | 0.8 | 90.2 |
| 3 | 1.0 | 90.0 | 1.8 | 89.3 |
| 4 | 1.6 | 89.5 | 2.8 | 88.3 |
| 5 | 2.3 | 88.8 | 4.1 | 87.2 |
| 6 | 2.2 | 88.0 | 5.5 | 85.9 |
| 7 | 4.4 | 86.9 | 7.1 | 84.4 |
| 8 | 5.8 | 85.7 | 9.0 | 82.7 |
| 9 | 7.5 | 84.1 | 11.2 | 80.8 |
| 10 | 9.7 | 82.1 | 13.6 | 78.5 |
| 11 | 12.4 | 79.8 | 16.3 | 76.1 |
| 12 | 15.6 | 76.8 | 19.3 | 73.4 |
| 13 | 19.2 | 73.4 | 22.5 | 70.4 |
| 14 | 23.3 | 69.8 | 25.9 | 67.4 |
| 15 | 27.4 | 66.0 | 29.4 | 64.2 |
| 16 | 31.5 | 62.0 | | |

**$k = 0.15$** / **$k = 0.15$ (cont.)**

| n | (a) i | (a) m | (b) i | (b) m |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.0 | 87.0 | 0.0 | 87.0 |
| 2 | 0.9 | 86.2 | 1.7 | 85.5 |
| 3 | 2.1 | 85.1 | 3.6 | 83.8 |
| 4 | 3.9 | 83.8 | 6.0 | 81.8 |
| 5 | 5.5 | 82.2 | 8.7 | 79.4 |
| 6 | 8.0 | 80.0 | 11.8 | 76.7 |
| 7 | 11.2 | 72.2 | 15.4 | 73.5 |
| 8 | 15.2 | 73.7 | 19.5 | 70.0 |
| 9 | 20.1 | 69.5 | 23.8 | 66.2 |
| 10 | 25.5 | 64.8 | 28.4 | 62.3 |
| 11 | 31.0 | 60.0 | | |

**$k = 0.20$**

| n | (a) i | (a) m | (b) i | (b) m |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.0 | 83.3 | 0.0 | 83.3 |
| 2 | 1.5 | 82.0 | 2.7 | 81.1 |
| 3 | 3.6 | 80.4 | 5.9 | 78.4 |
| 4 | 6.3 | 78.1 | 9.8 | 75.2 |
| 5 | 10.0 | 75.0 | 14.2 | 71.5 |
| 6 | 14.7 | 71.1 | 19.2 | 67.4 |
| 7 | 20.6 | 66.2 | 24.6 | 62.8 |
| 8 | 27.3 | 60.6 | 30.3 | 58.1 |
| 9 | 32.6 | 56.1 | | |

**$k = 0.30$**

| n | (a) i | (a) m | (b) i | (b) m |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.0 | 76.9 | 0.0 | 76.9 |
| 2 | 3.0 | 74.6 | 5.1 | 73.0 |
| 3 | 7.4 | 71.3 | 11.1 | 68.4 |
| 4 | 13.3 | 66.7 | 18.0 | 63.1 |
| 5 | 21.1 | 60.7 | 25.4 | 57.4 |
| 6 | 29.9 | 53.9 | 33.0 | 51.6 |

**$k = 0.40$**

| n | (a) i | (a) m | (b) i | (b) m |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.0 | 71.4 | 0.0 | 71.4 |
| 2 | 4.8 | 68.0 | 7.5 | 66.0 |
| 3 | 11.8 | 63.0 | 16.3 | 59.8 |
| 4 | 21.2 | 56.3 | 25.6 | 53.1 |
| 5 | 31.9 | 48.6 | 34.9 | 46.5 |

# Cálculo de la interferencia entre máquinas mediante el uso del método de Ashcroft

Con base en el ejemplo anterior:

$k = l/m = 3 / 150 = 0.02$ n= 60

De la tabla del apéndice 3 libro de Niebel, con tiempo de servicio exponencial y $k = 0.02$ y n = 60, tenemos un tiempo de interferencia entre máquinas de 16.8% del tiempo del ciclo.

Tenemos $Ti = 0.168c$, donde $c$ es el tiempo del ciclo para producir una unidad por eje. Entonces,

$$c = m + l + i = 150 + 3 + 0.168c \qquad c = 184 \text{ minutos}$$

y

$$Ti = 0.168c = 30.9 \text{ minutos}$$

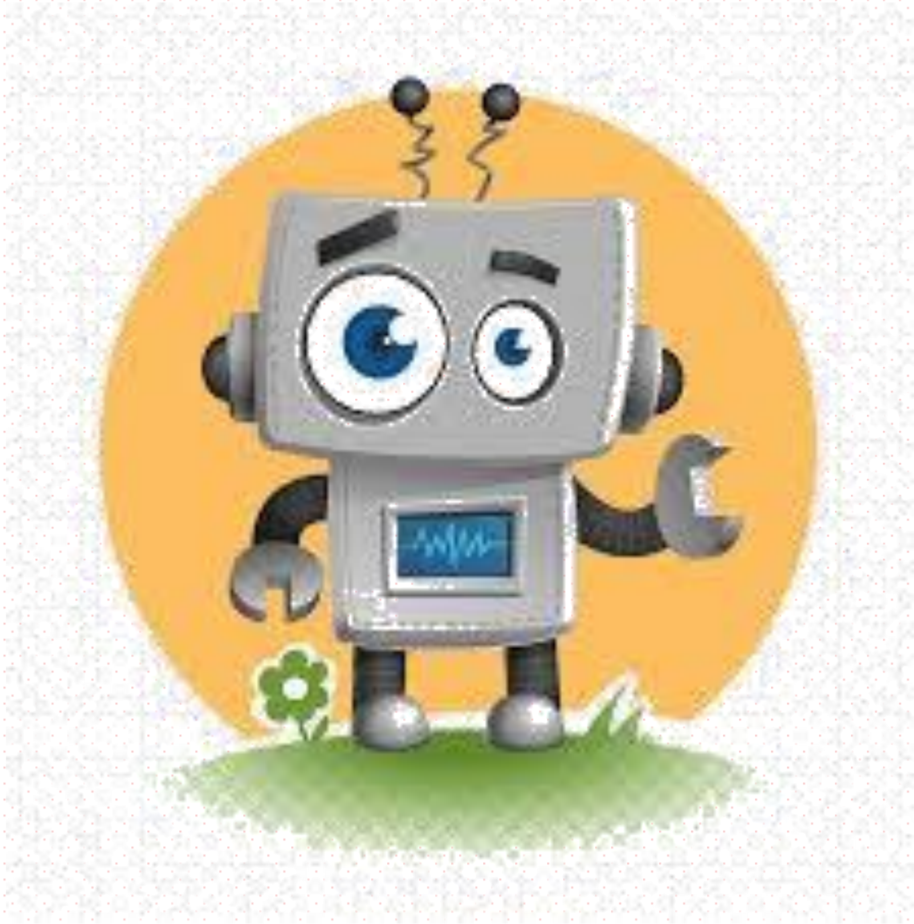
El tiempo de interferencia calculado mediante la la fórmula de Wright (34.8 minutos, ejemplo anterior) coincide en buena medida con el desarrollado aquí mediante el modelo de la teoría de colas.

Sin embargo, a medida que *n* (el número de máquinas asignadas) es menor, la diferencia proporcional entre las dos técnicas aumenta.

**Tabla A3.8** Tablas de tiempo interferencia de máquinas ($i$) y tiempo de operación de máquina ($m$) para constantes de servicio seleccionadas ($k = l/m$)
(Los valores se expresan como porcentaje del tiempo total, donde $m + l + i = 100\%$)

| | (a) | | (b) | | | (a) | | (b) | | | (a) | | (b) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *n* | *i* | *m* | *i* | *m* | *n* | *i* | *m* | *i* | *m* | *n* | *i* | *m* | *i* | *m* |
| | | $k = 0.01$ | | | | | $k = 0.02$ (*cont.*) | | | | | $k = 0.03$ (*cont.*) | | |
| 1 | 0.0 | 99.0 | 0.0 | 99.0 | 10 | 0.2 | 97.8 | 0.4 | 97.6 | 32 | | | 8.9 | 88.5 |
| 10 | 0.1 | 99.0 | 0.1 | 98.9 | 15 | 0.4 | 97.7 | 0.7 | 97.4 | 33 | | | 9.7 | 87.7 |
| 20 | 0.1 | 98.9 | 0.2 | 98.8 | 20 | 0.6 | 97.5 | 1.1 | 97.0 | 34 | | | 10.6 | 86.8 |
| 30 | 0.2 | 98.8 | 0.4 | 98.6 | 25 | 0.8 | 97.2 | 1.6 | 96.5 | 35 | | | 11.6 | 85.9 |
| 40 | | | 0.6 | 98.4 | 30 | 1.2 | 96.9 | 2.2 | 95.9 | 36 | | | 12.6 | 84.9 |
| 50 | | | 0.9 | 98.1 | 35 | | | 3.1 | 95.0 | 37 | | | 13.7 | 83.8 |
| 60 | | | 1.3 | 97.8 | 40 | | | 4.3 | 93.8 | 38 | | | 14.9 | 86.8 |
| 70 | | | 1.8 | 97.2 | 45 | | | 6.1 | 92.0 | 39 | | | 16.1 | 81.4 |
| 80 | | | 2.7 | 96.3 | 50 | | | 8.7 | 89.5 | 40 | | | 17.4 | 80.2 |
| 85 | | | 3.4 | 95.7 | 51 | | | 9.3 | 88.9 | 41 | | | 18.8 | 78.9 |
| 90 | | | 4.2 | 94.9 | 52 | | | 10.0 | 88.3 | 42 | | | 20.1 | 77.5 |
| 95 | | | 5.2 | 93.8 | 53 | | | 10.7 | 87.6 | 43 | | | 21.6 | 76.2 |
| 100 | | | 6.7 | 92.4 | 54 | | | 11.5 | 86.8 | 44 | | | 23.0 | 74.8 |
| 105 | | | 8.5 | 90.6 | 55 | | | 12.3 | 86.0 | 45 | | | 24.4 | 73.4 |
| 110 | | | 10.7 | 88.4 | 56 | | | 13.1 | 85.2 | 46 | | | 25.9 | 72.0 |
| 115 | | | 13.4 | 85.8 | 57 | | | 14.0 | 84.3 | 47 | | | 27.3 | 70.6 |
| 120 | | | 16.3 | 82.9 | 58 | | | 14.9 | 83.4 | 48 | | | 28.7 | 69.2 |
| 121 | | | 16.9 | 82.3 | 59 | | | 15.9 | 82.5 | | | | | |
| 122 | | | 17.5 | 81.7 | 60 | | | 16.8 | 81.5 | | | $k = 0.04$ | | |
| 123 | | | 18.1 | 81.1 | 61 | | | 17.9 | 80.5 | | | | | |
| 124 | | | 18.8 | 80.4 | 62 | | | 18.9 | 79.5 | 1 | 0.0 | 96.2 | 0.0 | 96.2 |
| 125 | | | 19.4 | 79.8 | 63 | | | 19.9 | 78.5 | 2 | 0.1 | 96.1 | 0.2 | 96.0 |
| 126 | | | 20.0 | 79.2 | 64 | | | 21.0 | 77.5 | 3 | 0.2 | 96.0 | 0.3 | 95.9 |
| 127 | | | 20.6 | 78.6 | 65 | | | 22.0 | 76.4 | 4 | 0.2 | 95.9 | 0.5 | 95.7 |

# FIN DE LA TERCERA PARTE



## SOLUCIÓN HOJA DE TRABAJO 4

1. En la fábrica "Planeta" el tiempo de maquinado por pieza es de 0.164 horas y el tiempo de carga de la máquina es de 0.038 horas. Al operario le toma 0.015 horas ir de una máquina a la siguiente. Con un salario del operador de $14.50/hora y un costo de máquina de $17/hora, calcule el número óptimo de máquinas que produzca el costo más bajo por unidad de producción.

$$n_1 \leq \frac{0.038 + 0.164}{0.038 + 0.015}$$

$n_1$ = 3 maquinas
$n_2$ = 4 maquinas

$$TEC_{n1} = \frac{(0.038 + 0.164)\ (14.5 + 3 * 17)}{3} = 4.41\ por\ unidad$$

$$TEC_{n2} = (0.038 + 0.015)(14.5 + 4 * 17) = 4.37\ por\ unidad$$

2. El analista en la Dorben Company desea asignar un número de equipos similares a un operador con base en la minimización del costo por unidad de producción. Un estudio detallado de los equipos revela lo siguiente:
   - Tiempo estándar de la carga de la máquina = 3.4 minutos
   - Tiempo estándar de la descarga de la máquina = 2.6 minutos
   - Tiempo de recorrido entre las dos máquinas = 0.6 minutos
   - Tiempo de operación de la máquina = 15 minutos
   - Salario del operador = $12.00/hora
   - Tarifa de la máquina (ociosa y trabajando) = $18.00/hora

   ¿Cuántas máquinas deben asignarse al operador?

$$n_1 \leq \frac{6 + 15}{6 + 0.6}$$

$n_1$ = 3 maquinas
$n_2$ = 4 maquinas

$$TEC_{n1} = \frac{(6 + 15)\ (12 + 3 * 18)}{3 * 60} = 7.70\ por\ unidad$$

$$TEC_{n2} = \frac{(6 + 0.6)(12 + 4 * 18)}{60} = 9.24\ por\ unidad$$

3. En “Aceros del Norte” un operador debe dar servicio a tres máquinas que tienen un tiempo fuera de servicio esperado de 30%. Cuando está trabajando, cada máquina puede producir 44 unidades/hora. Al operador se le paga $12.00/hora y una máquina cuesta $50.00/hora. ¿Vale la pena contratar a otro operador para que mantenga a las máquinas en operación? Justifique su respuesta.

| maquinas fuera de servicio | probabilidad |
|---|---|
| **0** | 0.343 |
| **1** | 0.441 |
| **2** | 0.189 |
| **3** | 0.027 |

| con 1 operario | |
|---|---|
| maquinas no atendidas | Horas maquina perdidas |
| 0 | 0 |
| 0 | 0 |
| 1 | 1.512 |
| 2 | 0.432 |
| | **1.944** |

| con 2 operarios | |
|---|---|
| maquinas no atendidas | Horas maquina perdidas |
| 0 | 0 |
| 0 | 0 |
| 0 | 0 |
| 1 | 0.216 |
| | **0.216** |

| | | |
|---|---|---|
| Horas productivas = | 22.056 | horas |
| Produccion diaria = | 970.464 | unidades |
| R ≡ | 121.308 | unid/hora |
| TEC = Q | 1.34 | |

| | | |
|---|---|---|
| Horas productivas= | 23.784 | horas |
| P diaria = | 1046.496 | unidades |
| R ≡ | 130.812 | unid/hora |
| TEC = Q | 1.33 | |

$$TEC_1 = \frac{12 + 3*50}{121.308} = 1.34 \qquad TEC_2 = \frac{2*12 + 3*50}{130.812} = 1.33$$

4. Un estudio en “Plastiformas S.A” revela que un grupo de tres máquinas semiautomáticas asignadas a un operador trabajan de forma independiente 80% del tiempo. El tiempo de servicio del operador a intervalos irregulares promedia 20% del tiempo en estas tres máquinas. ¿Cuál sería la pérdida en horas máquina estimada por día de 8 horas debida a la pérdida de un operador?

| | |
|---|---|
| maquinas fuera de servicio m | 0,1,2,3 |
| total, de máquinas n | 3 |
| probabilidad fuera de servicio p | 0.2 |
| probabilidad en operación q | 0.8 |

| | |
|---|---|
| numero de operarios k | 1 |
| numero de operarios l | 2 |
| jornada diurna | 8 |
| Horas máquina disponibles | 24 |

| maquinas fuera de servicio | probabilidad | con 1 operario: maquinas no atendidas | con 1 operario: Horas maquina perdidas |
|---|---|---|---|
| 0 | 0.512 | 0 | 0 |
| 1 | 0.384 | 0 | 0 |
| 2 | 0.096 | 1 | 0.768 |
| 3 | 0.008 | 2 | 0.128 |
| | | | **0.896** |

| con 2 operarios | |
|---|---|
| maquinas no atendidas | Horas maquina perdidas |
| 0 | 0 |
| 0 | 0 |
| 0 | 0 |
| 1 | 0.064 |
| | **0.064** |

Dia= 23.104 horas

Dia= 23.936 horas

Con dos operarios se pierde 0.064 horas máquina diarias
Con un operario se pierde 0.896 horas máquina diarias
Al haber sólo un operario se pierde 0.832 horas máquina adicionales

5. El operario de la fábrica de lápices “Nipón” tiene asignados 35 dispositivos que colocan el borrador al lápiz terminado. Un estudio de tiempos determinó que el tiempo promedio de operación de la máquina es de 225 minutos y el tiempo promedio estándar de servicio por paquete, es de 5 minutos.
Usando la fórmula de Wright calcule:

a) La interferencia con la máquina, expresado como un porcentaje del tiempo promedio de atención del operador.

$$I = 50\left\{\sqrt{\left[\left(1+\frac{225}{5}-60\right)^2+2*35\right]}-(1+\frac{225}{5}-35)\right\} = 1.41\%$$

b) El tiempo de interferencia con la máquina expresado en minutos

Tiempo de interferencia de Wright = 1.41% * 5 = 7.1 minutos

Usando el método de Ashcroft calcule:

c) El tiempo total del ciclo

*k = 5 / 225 = 0.02*

*De la tabla A3.8 i = 3.1*

*C= 225 + 5 + 3.1C*
*C=237*

d) El tiempo de interferencia con la máquina expresado en minutos

Tiempo de interferencia de Ashcroft = 3.1 * 237 = 7.4 minutos

# BALANCEO DE LÍNEA

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

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

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

# Objetivos

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

- Una línea de producción es un conjunto armonizado de diversos subsistemas, como son neumáticos, hidráulicos, mecánicos, electrónicos, software, etc.  Todos estos con una finalidad en común: Transformar o integrar materia prima en otros productos.

- El balanceo de líneas es la asignación de las cargas de trabajo en base a las líneas de producción que se tengan para aprovechar al máximo la mano de obra y la maquinaria.

# BALANCEO DE LÍNEA

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

# Métodos de balanceo

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

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

# Método tradicional

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

Pasos:

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

# Ejemplo 1

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

Se quiere realizar el balanceo de la línea de montaje, utilizando como regla principal el asignar la tarea, dentro de las posibles candidatas, que tenga una mayor duración.

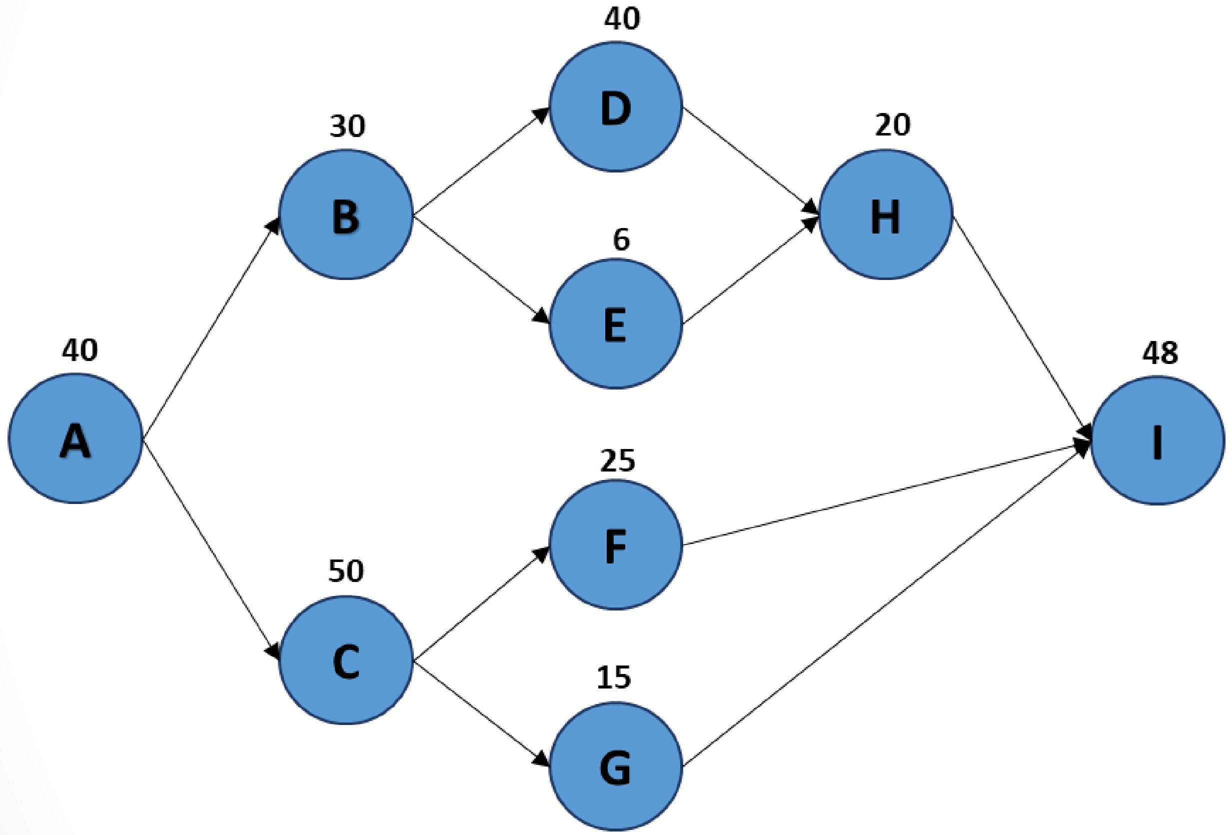
Calcular la eficiencia de la solución propuesta.

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

La precedencia entre tareas es la siguiente

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

# Elaboración Pert




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

# Determinación del tiempo de ciclo

C = tiempo de producción diaria/producción diaria

C = 10 horas x 60 min x 60 s / 480 unidades = 75 s

# Número mínimo de estaciones de trabajo

Ne = Tiempo de realización de tareas / tiempo de ciclo

Ne = 274 / 75 = 3.65 ≈ 4 estaciones de trabajo

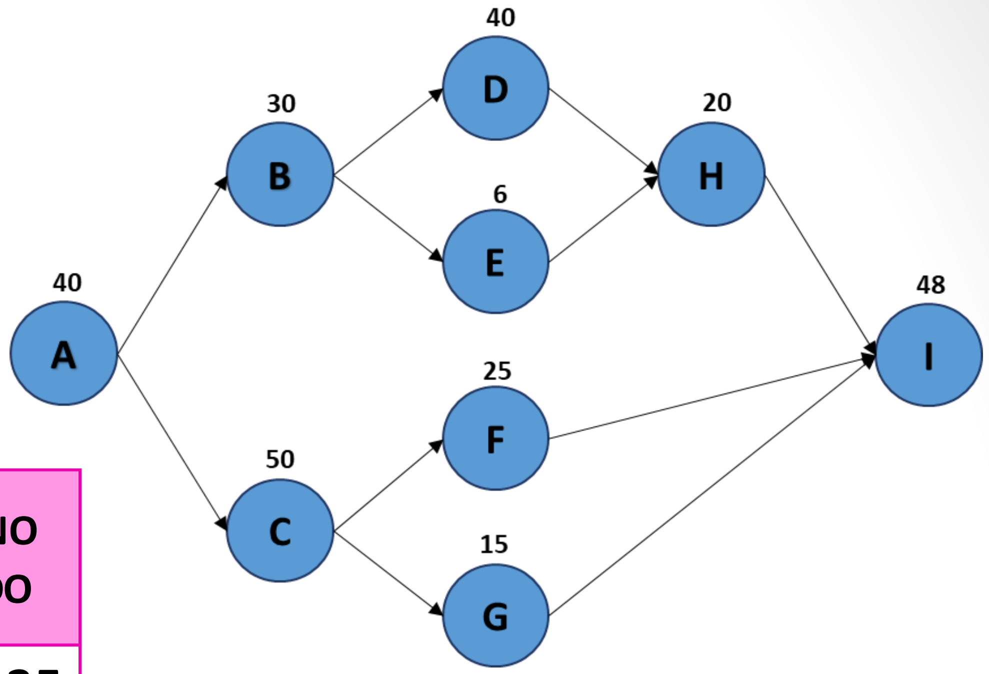
| TAREA | TIEMPO DE REALIZACIÓN (s) |
|---|---|
| A | 40 |
| B | 30 |
| C | 50 |
| D | 40 |
| E | 6 |
| F | 25 |
| G | 15 |
| H | 20 |
| I | 48 |
| | 274 |

# Asignar tareas

Regla de asignación: asignar la tarea de mayor duración

Una tarea puede ser candidata cuando sus tareas precedentes ya hayan sido asignadas y su tiempo de realización sea menor o igual que el tiempo no asignado en la estación de trabajo.

# Asignar tareas




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

# Análisis de la solución

Se necesitan 4 estaciones de trabajo que es el número mínimo

Hay una distribución desigual del tiempo no asignado

(Esto se podría mejorar buscando otra regla de asignación)

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

Eficiencia = T / (Nr x C)

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

Eficiencia = 274 / (4 x 75) = 0.91 = 91%

Esto implica que se desperdicia 9% del tiempo

# ¿Qué ocurriría si…?

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

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

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

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

# Ventajas

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

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

**Mayor producción**

Producción diaria = Tiempo productivo al día / Tiempo de ciclo

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

**Menor tiempo de trabajo al día**

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

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

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

**Aumento de la eficiencia**

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

# EJEMPLO 2

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

- Operador 1, 0.52 minutos
- Operador 2, 0.48 minutos
- Operador 3, 0.65 minutos
- Operador 4, 0.41 minutos
- Operador 5, 0.55 minutos.

- El operador 3 establece el paso, como lo evidencia lo siguiente:

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

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

$$E = \frac{\sum_{1}^{5} SM}{\sum_{1}^{5} AM} \times 100 = \frac{2.61}{3.25} \times 100 = 80\%$$

Donde:

E = eficiencia

SM = minutos estándar por operación

AM = minutos estándar permitidos por operación

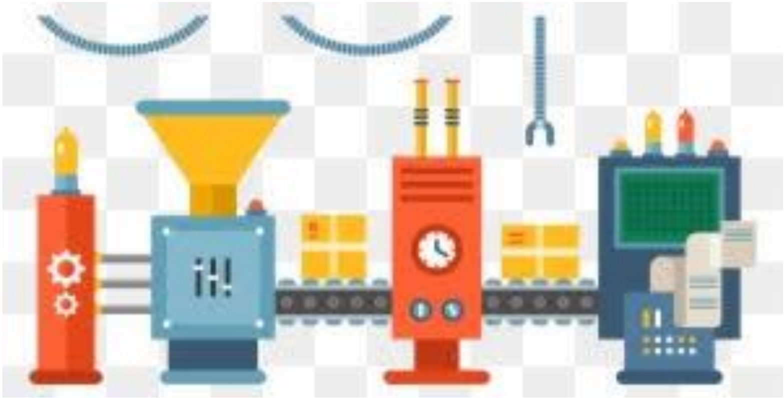
Algunos analistas prefieren considerar el tiempo ocioso en porcentaje (% ocioso):

% ocioso = 100 - E = 20%

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

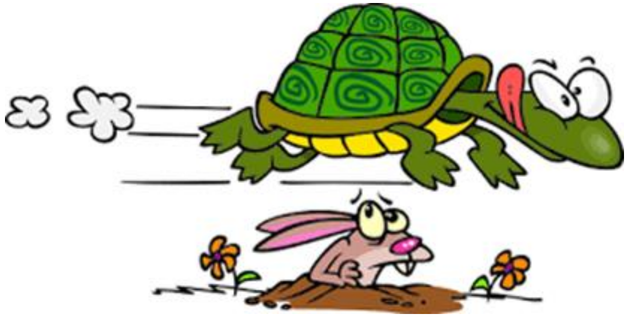
# Algunos hechos interesantes sobre el balanceo de líneas

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



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

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



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

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

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

donde

N = número de operadores necesarios en la línea

R = velocidad de producción que se desea

# Ejemplo 3

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

1. 1.25 minutos
2. 1.38 minutos
3. 2.58 minutos
4. 3.84 minutos
5. 1.27 minutos
6. 1.29 minutos
7. 2.48 minutos
8. 1.28 minutos.

- La línea debe producir 700 unidades diarias (o 700/480 = 1.458 unidades/minuto)
- Debido a que queremos minimizar el almacenamiento, no deseamos producir más de 700 unidades/día.
- Para planear esta línea de ensamblado con el fin de lograr la configuración más económica, calculamos el número de operadores que se requieren para un nivel de eficiencia determinado (idealmente, 100%), de la manera siguiente:

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

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

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

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

  **Operación 1:** 1.25min/0.685min = 1.83 **≈ 2 operarios**

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

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

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

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

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

- Si este ritmo de producción no es adecuado, se necesitará incrementar el ritmo de producción del operador 2, objetivo que puede lograrse mediante

1. Uno o ambos operarios trabajen en la segunda operación tiempo extra, lo que acumula un pequeño inventario en esta estación de trabajo.
2. Mediante los servicios de un tercer operador de tiempo parcial en la estación de trabajo de la operación 2.
3. A través de la reasignación de parte del trabajo de la operación 2 a la operación 1 o a la operación 3. (Sería preferible asignar más trabajo a la operación 1.)
4. Mejorar el método en la operación 2 para reducir el tiempo del ciclo de esta operación.

- En el ejemplo anterior, dados el tiempo de ciclo y los tiempos de las operaciones, un analista puede determinar el número de operadores necesarios para que cada operación cumpla con un horario de producción deseado.
- El problema de la asignación de trabajo en una línea de producción también puede tener por objetivo:

  - **Minimizar el número de estaciones de trabajo**, dado el tiempo deseado del ciclo
  - Dado el número de estaciones de trabajo, asignar los elementos de trabajo a las estaciones de trabajo, dentro de las restricciones establecidas, con el fin de **minimizar el tiempo del ciclo**.

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

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

# EJERCICIO

- En un proceso de ensamblado que involucra seis operaciones distintas, es necesario producir 250 unidades en un día de 8 horas. Los tiempos de operación medidos son los siguientes:

a) 7.56 minutos
b) 4.25 minutos
c) 12.11 minutos
d) 1.58 minutos
e) 3.72 minutos
f) 8.44 minutos

- ¿Cuántos operadores se requerirán para un nivel de eficiencia de 80%? ¿Cuántos operadores se deben utilizar en cada una de las seis operaciones?

| Operador | Minutos Estandar para llevar a cabo la operación (SM) |
|---|---|
| 1 | 7.56 |
| 2 | 4.25 |
| 3 | 12.11 |
| 4 | 1.58 |
| 5 | 3.72 |
| 6 | 8.44 |
| TOTALES | **37.66** |

PRODUCCION META 250

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

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

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

Minutos por unidad = 480/250 = 1.92

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

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

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

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

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

# GRACIAS POR SU ATENCIÓN.

# SOLUCION HOJA DE TRABAJO 5

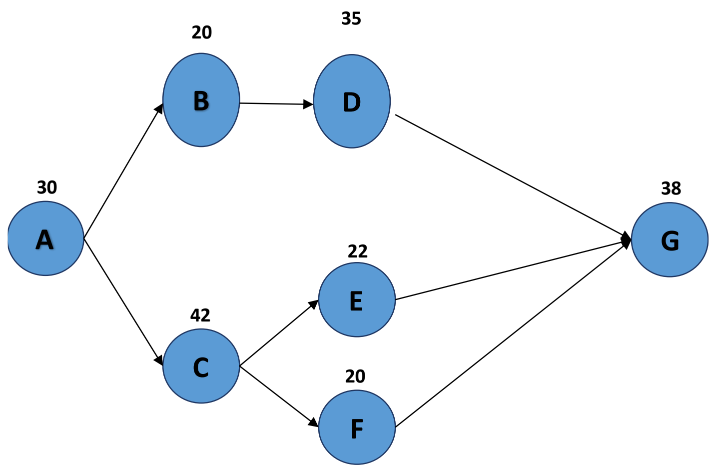
1. En Union Steel un operador debe dar servicio a cuatro fresadoras que tienen un tiempo fuera de servicio esperado de 25%. El operador percibe un salario de $120 al día laborando en jornada diurna. A Union Steel le cuesta $35.00 cada hora que una fresadora está operando y esta procesa 30 piezas la hora. **¿Es rentable contratar a otro operador para que las fresas operen el mayor tiempo posible?**

| | | con 1 operario | | con 2 operarios | |
|---|---|---|---|---|---|
| maquinas fuera de servicio | probabilidad | maquinas no atendidas | Horas maquina perdidas | maquinas no atendidas | Horas maquina perdidas |
| 0 | 0.3164 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0.4219 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0.2109 | 1 | 1.6875 | 0 | 0 |
| 3 | 0.0469 | 2 | 0.75 | 1 | 0.375 |
| 4 | 0.0039 | 3 | 0.09375 | 2 | 0.0625 |
| | | | **2.4375** | | **0.375** |

| con 1 operario | | con 2 operarios | |
|---|---|---|---|
| Dia= | 29.5625 hr | Dia= | 31.625 hr |
| Produccion diaria = | 886.875 und | P diaria = | 948.75 und |
| ≡ | 110.8594 und/hr | ≡ | 118.59375 und/hr |
| TEC = | Q 2.35 | TEC = | Q 3.204 |

2. Se quieren producir 375 unidades diarias de un producto en nuestras instalaciones, en las que se trabaja 8 horas al día. Se quiere realizar el balanceo de la línea de montaje, utilizando como regla principal el asignar la tarea, dentro de las posibles candidatas, que tenga una mayor duración.
   Calcular la eficiencia de la solución propuesta.
   Las tareas que deben realizarse, con su tiempo de realización en segundos. La precedencia entre tareas es la siguiente

| ASIGNADA | TIEMPO | TAREAS PRECEDENTES |
|---|---|---|
| **A** | **30** | **-** |
| **B** | **20** | **A** |
| **C** | **42** | **A** |
| **D** | **35** | **B** |
| **E** | **22** | **C** |
| **F** | **20** | **C** |
| **G** | **38** | **D,E,F** |




**Determinación del tiempo de ciclo**
C = tiempo de producción diaria/producción diaria
C = 8 horas x 60 min x 60 s / 375 unidades = 76.8 s
**Número mínimo de estaciones de trabajo**
Ne = Tiempo de realización de tareas / tiempo de ciclo
Ne = 180 / 76.8 = 2.34 = 3 estaciones de trabajo
**Asignar tareas**
Regla de asignación: asignar la tarea de mayor duración
Una tarea puede ser candidata cuando sus tareas precedentes ya hayan sido asignadas y su tiempo de realización sea menor o igual que el tiempo no asignado en la estación de trabajo.

| ESTACION DE TRABAJO | CANDIDATAS | ASIGNADA | TIEMPO | TIEMPO NO ASIGNADO |
|---|---|---|---|---|
| 1 | A | A | 30 | 76.8-30 = 46.8 |
| | B, C | C | 42 | 46.8 - 42 = 4.8 |
| 2 | B,E,F | E | 22 | 76.8 - 22 = 54.8 |
| | B, F | B | 20 | 54.8 - 20 = 34.8 |
| | D, F | F | 20 | 34.8 - 20= 14.8 |
| 3 | D | D | 35 | 76.8 - 35 = 41.8 |
| | G | G | 38 | 41.8 - 38 = 3.8 |

Análisis de la solución

Se necesitan 3 estaciones de trabajo que es el número mínimo
Hay una distribución desigual del tiempo no asignado
Eficiencia = T / (Nr x C)
Eficiencia = 207 / (3 x 76.8) = 0.8984 = 89.84%
Esto implica que se desperdicia 10.16% del tiempo

| ESTACION DE TRABAJO | TIEMPO NO ASIGNADO |
|---|---|
| 1 | 4.8 |
| 2 | 14.8 |
| 3 | 3.8 |

3. En Toyland, S.A. se fabrica un juguete que requiere cinco pasos, es necesario producir un mínimo de 675 unidades en la jornada nocturna. Los tiempos de operación medidos son los siguientes:
   A. *3.27 minutos*
   B. *1.27 minutos*
   C. *4.09 minutos*
   *D.* *4.43 minutos*
   E. *2.55 minutos*

a. ¿Cuántos operadores se requerirán para un nivel de eficiencia de 95%?

Tiempo total de ciclo: 15.61 minutos

$$R = \frac{675}{360} = 1.875$$

$$N = 1.875 \times 15.61 = 29.26875$$

$$E\ 95\% = \frac{29.26875}{0.95} = 30.809 \approx 31 \text{ operarios}$$

b. ¿Cuántos operadores se deben utilizar en cada una de las cinco operaciones?

Producción meta: 675 unidades en jornada nocturna
Minutos estándar para la operación = 360/ 675 = 0.53

| Operación | Minutos Estandar (SM) | Minutos Estándar Minutos/ unidad | Número de operadores |
|---|---|---|---|
| Operación 1 | 3.27 | 6.131 | 6 |
| Operación 2 | 1.27 | 2.381 | 3 |
| Operación 3 | 4.09 | 7.669 | 8 |
| Operación 4 | 4.43 | 8.306 | 9 |
| Operación 5 | 2.55 | 4.781 | 5 |
| TOTALES | **15.61** | | **31** |

| Operación mas lenta = SM / No op. |
|---|
| 0.545 |
| 0.423 |
| 0.511 |
| 0.492 |
| 0.510 |

**c.** ¿Se logra la meta de producción una vez balanceada la línea?

- EN GENERAL:

$$\frac{\text{31 trabajadores x 60 min}}{\text{15.61 minutos estándar}} = \text{119.15 piezas/hora} = \text{714.9 diarias}$$

*Teóricamente llegan a la meta.

- ANALIZANDO LA OPERACIÓN MÁS LENTA:

$$\frac{\text{6 trabajadores x 60 min}}{\text{3.27 minutos estándar}} = \text{110.09 piezas/hora} = \text{660.55 diarias}$$

Se ve que debido a la línea 1 que fue señalada como la más lenta NO SE LLEGA A LA META por 15 piezas

- AGREGANDO UN TRABAJADOR MAS EN LA OPERACIÓN 1:

$$\frac{\text{7 trabajadores x 60 min}}{\text{3.27 minutos estándar}} = \text{128.44 piezas/hora} = \text{770.64}$$

Matemáticamente La línea requerirá de 32 trabajadores. Pero sería más lógico pagar algunas horas extra para fabricar las 15 unidades faltantes para alcanzar la meta.