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 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 q será igual a $1 - p$

$$q = 1 - 0.4 = 0.6$$

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

$$n = 3 \text{ máquinas.}$$

m es una variable de conteo, es decir que varía desde cero hasta el número máximo que es 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:

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

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

$$TEC = (3 \times 10 + 2 \times 60)/176.16 = \$1.14/\text{unidad}$$

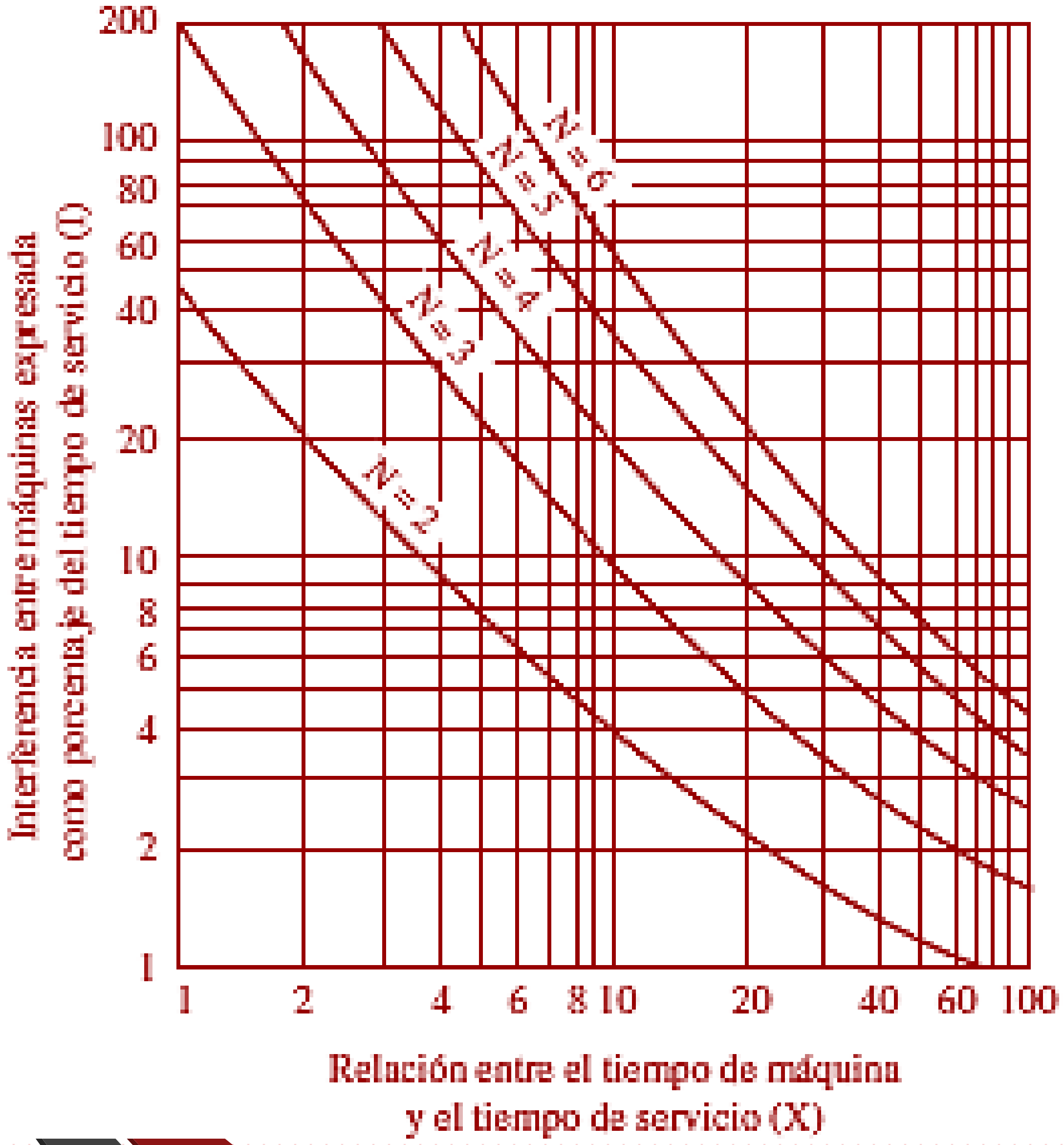
Por lo tanto, es más eficiente desde el punto de vista económico contratar a otro operador y mantener las máquinas en operación.

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

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

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 $m + l + i = 100\%$)

$k = 0.01$

	(a)		(b)	
n	i	m	i	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

$k = 0.02$

	(a)		(b)	
n	i	m	i	m
1	0.0	98.0	0.0	98.0
5	0.1	98.0	0.2	97.9

$k = 0.02$ (cont.)

	(a)		(b)	
n	i	m	i	m
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

$k = 0.03$

	(a)		(b)	
n	i	m	i	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

$k = 0.03$ (cont.)

	(a)		(b)	
n	i	m	i	m
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

$k = 0.04$

	(a)		(b)	
n	i	m	i	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

$k = 0.04$ (cont.)

	(a)		(b)	
n	i	m	i	m
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

$k = 0.05$

	(a)		(b)	
n	i	m	i	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

$k = 0.06$

	(a)		(b)	
n	i	m	i	m
1	0.0	94.3	0.0	94.3
2	0.2	94.2	0.3	94.0

$k = 0.06$ (cont.)

	(a)		(b)	
n	i	m	i	m
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

$k = 0.07$

	(a)		(b)	
n	i	m	i	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

$k = 0.08$

	(a)		(b)	
n	i	m	i	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

$k = 0.09$

	(a)		(b)	
n	i	m	i	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

$k = 0.10$

	(a)		(b)	
n	i	m	i	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

$k = 0.10$ (cont.)

	(a)		(b)	
n	i	m	i	m
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		

$k = 0.15$

	(a)		(b)	
n	i	m	i	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

$k = 0.15$ (cont.)

	(a)		(b)	
n	i	m	i	m
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		

$k = 0.20$

	(a)		(b)	
n	i	m	i	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		

$k = 0.30$

	(a)		(b)	
n	i	m	i	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

$k = 0.40$

	(a)		(b)	
n	i	m	i	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 SEGUNDA PARTE