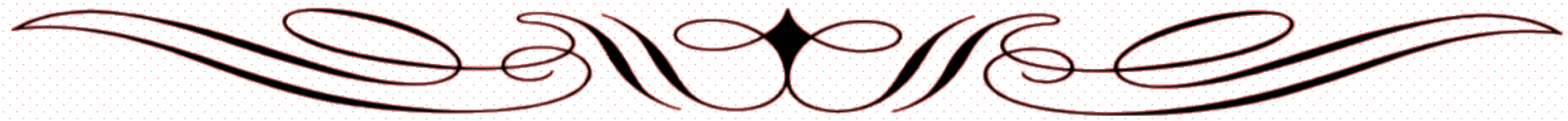


An abstract graphic in the bottom-left corner consisting of several overlapping, thick, diagonal lines in red and grey, creating a sense of depth and movement.

INGENIERIA DE MÉTODOS I



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.

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

RELACIONES HOMBRE-MÁQUINA

PARTE III

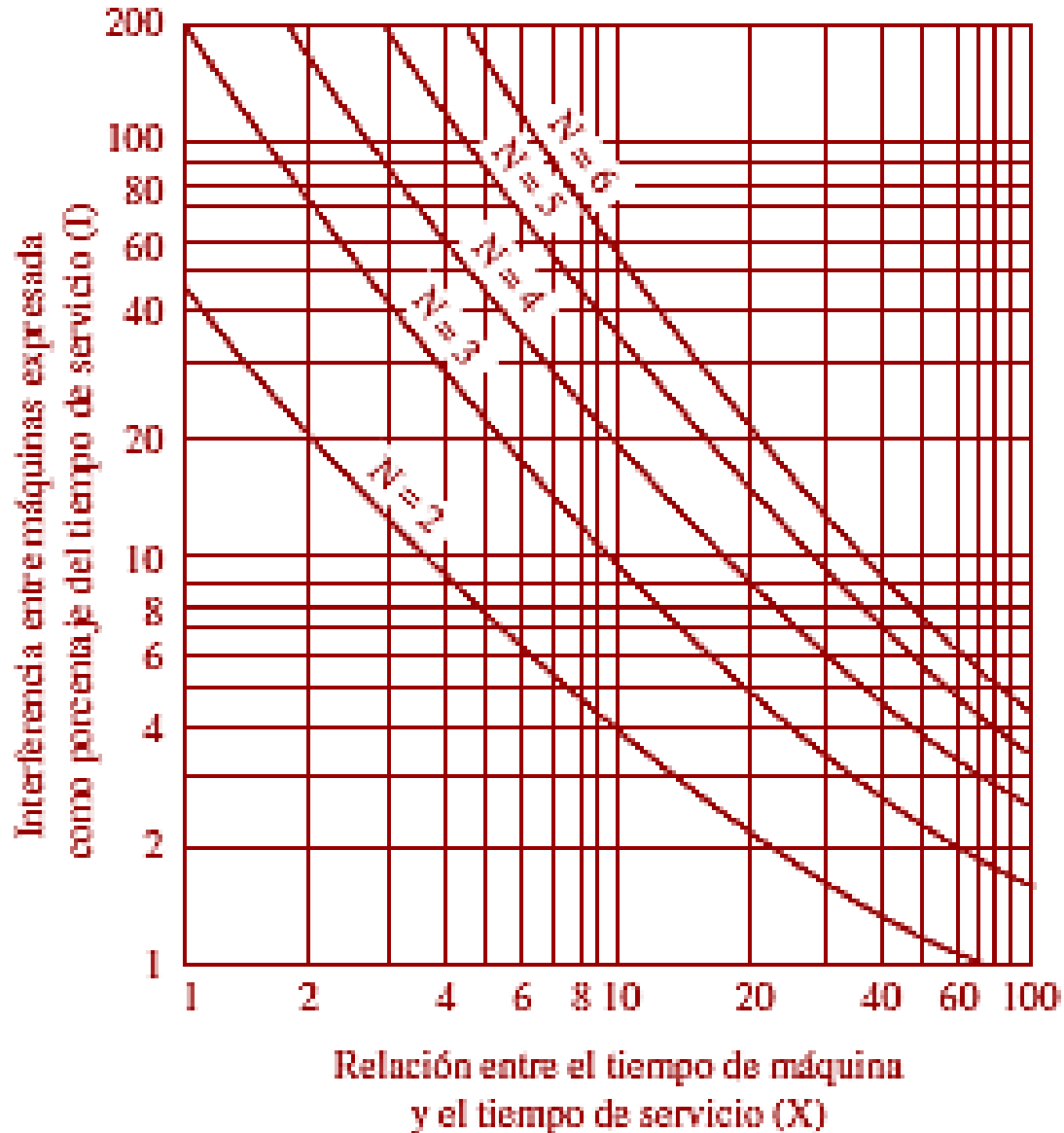
Objetivos

- 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 $11.59 \times 3.0 = 34.8$ 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

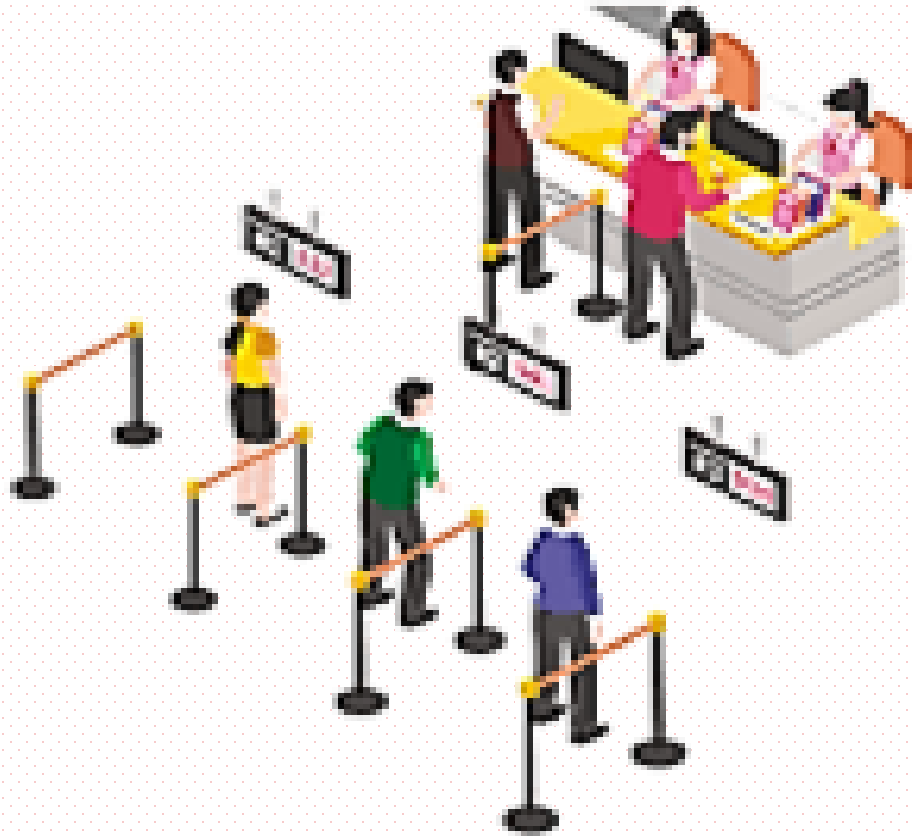


Tabla A3.8 Tablas de tiempo interferencia de máquinas (i) y tiempo de operación de máquina (m) para constantes de servicio seleccionadas ($k = l/m$)
(Los valores se expresan como porcentaje del tiempo total, donde $m + l + i = 100\%$)

(a)			(b)		(a)			(b)		(a)			(b)			
<i>n</i>	<i>i</i>	<i>m</i>	<i>i</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>i</i>	<i>m</i>	<i>i</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>i</i>	<i>m</i>	<i>i</i>	<i>m</i>		
<i>k</i> = 0.01					<i>k</i> = 0.02 (cont.)					<i>k</i> = 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	<i>k</i> = 0.04						
122			17.5	81.7	60			16.8	81.5							
123			18.1	81.1	61			17.9	80.5	1	0.0	96.2	0.0	96.2		
124			18.8	80.4	62			18.9	79.5	2	0.1	96.1	0.2	96.0		
125			19.4	79.8	63			19.9	78.5	3	0.2	96.0	0.3	95.9		
126			20.0	79.2	64			21.0	77.5	4	0.2	95.9	0.5	95.7		
127			20.6	78.6	65			22.0	76.4	5	0.3	95.8	0.7	95.5		
128			21.2	78.1	66			23.1	75.4	6	0.5	95.7	0.9	95.3		
129			21.8	77.5	67			24.2	74.4	7	0.6	95.6	1.1	95.1		
130			22.4	76.9	68			25.2	73.3	8	0.7	95.5	1.3	94.9		
131			22.9	76.3	69			26.2	72.3	9	0.8	95.4	1.5	94.7		
132			23.5	75.7	70			27.2	71.3	10	1.0	95.2	1.8	94.4		
133			24.1	75.2	71			28.2	70.4	11	1.1	95.1	2.1	94.1		
134			24.6	74.6	72			29.2	69.4	12	1.3	94.9	2.4	93.8		
135			25.2	74.1	<i>k</i> = 0.03					13	1.5	94.7	2.8	93.5		
136			25.7	73.5						14	1.8	94.5	3.2	93.1		
137			26.3	73.0	1	0.0	97.1	0.0	97.1	15	2.0	94.2	3.6	92.7		
138			26.8	72.5	5	0.2	96.9	0.4	96.7	16	2.3	94.0	4.0	92.3		
139			27.3	71.9	10	0.5	96.6	1.0	96.2	17	2.6	93.6	4.5	91.8		
140			27.9	71.4	15	1.0	96.2	1.8	95.4	18	3.0	93.3	5.1	91.3		
141			28.4	70.9	20	1.6	95.5	3.0	94.2	19	3.4	92.9	5.7	90.7		
142			28.9	70.4	25	2.8	94.4	4.7	92.5	20	3.9	92.4	6.4	90.0		
143			29.4	69.9	26	3.1	94.1	5.2	92.1	21	4.5	91.8	7.1	89.3		
144			29.9	69.4	27	3.4	93.7	5.7	91.6	22	5.2	91.2	8.0	88.5		
<i>k</i> = 0.02					28	3.8	93.4	6.2	91.1	23	6.0	90.4	8.9	87.6		
					29	4.3	92.9	6.8	90.5	24	6.8	89.6	9.9	86.7		
					30	4.8	92.4	7.4	89.9	25	7.9	88.6	11.0	85.6		
					31			8.1	89.2	26	9.0	87.5	12.2	84.5		

(a)			(b)			(a)			(b)			(a)			(b)				
<i>n</i>	<i>i</i>	<i>m</i>	<i>i</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>i</i>	<i>m</i>	<i>i</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>i</i>	<i>m</i>	<i>i</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>i</i>	<i>m</i>	<i>i</i>	<i>m</i>
<i>k</i> = 0.04 (cont.)					<i>k</i> = 0.06 (cont.)					<i>k</i> = 0.08									
27	10.4	86.2	13.4	83.2	3	0.4	94.0	0.7	93.7	1	0.0	92.6	0.0	92.6					
28	11.9	84.7	14.8	81.9	4	0.6	93.8	1.1	93.3	2	0.3	92.3	0.5	92.1					
29	13.6	83.0	16.3	80.5	5	0.8	93.6	1.5	92.9	3	0.6	92.0	1.2	91.5					
30	15.5	81.3	17.9	79.0	6	1.1	93.3	2.0	92.5	4	1.0	91.7	1.9	90.9					
31			19.6	77.4	7	1.4	93.1	2.5	92.0	5	1.4	91.2	2.7	90.1					
32			21.3	75.7	8	1.7	92.7	3.1	91.4	6	2.0	90.8	3.5	89.3					
33			23.0	74.0	9	2.1	92.4	3.7	90.8	7	2.6	90.2	4.5	88.4					
34			24.8	72.3	10	2.6	91.9	4.5	90.1	8	3.4	89.5	5.7	87.3					
35			26.6	70.6	11	3.1	91.4	5.3	89.4	9	4.3	88.6	7.0	86.1					
36			28.4	68.9	12	3.8	90.8	6.2	88.5	10	5.4	87.6	8.5	84.8					
37			30.1	67.2	13	4.5	90.1	7.3	87.5	11	6.7	86.4	10.1	83.2					
<i>k</i> = 0.05					14	5.4	89.2	8.4	86.4	12	8.4	84.8	12.0	81.4					
1	0.0	95.2	0.0	95.2	15	6.5	88.2	9.7	85.2	13	10.4	83.0	14.2	79.5					
2	0.1	95.1	0.2	95.0	16	7.8	87.0	11.2	83.8	14	12.8	80.8	16.5	77.3					
3	0.2	95.0	0.5	94.8	17	9.3	85.6	12.8	82.3	15	15.6	78.2	19.0	75.0					
4	0.4	94.9	0.7	94.5	18	11.1	83.9	14.6	80.6	16	18.8	75.2	21.8	72.4					
5	0.5	94.7	1.0	94.3	19	13.2	81.9	16.5	78.8	17	22.2	72.0	24.6	69.8					
6	0.7	94.6	1.4	94.0	20	15.6	79.7	18.6	76.8	18	25.7	68.8	27.6	67.1					
7	0.9	94.4	1.7	93.6	21			20.8	74.7	19	28.2	66.5	30.5	64.4					
8	1.1	94.2	2.1	93.3	22			23.1	72.5	<i>k</i> = 0.09									
9	1.4	93.9	2.5	92.9	23			25.5	70.3	1	0.0	91.5	0.0	91.7					
10	1.6	93.7	3.0	92.4	24			27.9	68.0	2	0.4	91.4	0.7	91.1					
11	2.0	93.4	3.5	91.9	25			30.3	65.8	3	0.8	91.0	1.4	90.4					
12	2.3	93.0	4.1	91.4	<i>k</i> = 0.07														
13	2.7	92.6	4.7	90.8	1	0.0	93.5	0.0	93.5	4	1.3	90.6	2.3	89.6					
14	3.2	92.2	5.4	90.1	2	0.2	93.2	0.4	93.1	5	1.9	90.0	3.3	88.7					
15	3.8	91.7	6.2	89.3	3	0.5	93.0	0.9	92.6	6	2.6	89.4	4.5	87.7					
16	4.4	91.0	7.1	88.5	4	0.8	92.7	1.4	92.1	7	3.4	88.6	5.8	86.5					
17	5.2	90.3	8.1	87.6	5	1.1	92.4	2.0	91.6	8	4.5	87.6	7.3	85.1					
18	6.1	89.5	9.1	86.5	6	1.5	92.1	2.7	91.0	9	5.7	86.5	9.0	83.5					
19	7.1	88.5	10.4	85.4	7	1.9	91.7	3.4	90.3	10	7.3	85.0	10.9	81.7					
20	8.4	87.3	11.7	84.1	8	2.4	91.2	4.3	89.5	11	9.3	83.2	13.1	79.7					
21	9.8	85.9	13.1	82.7	9	3.1	90.6	5.2	88.6	12	11.7	81.0	15.6	77.5					
22	11.5	84.3	14.7	81.2	10	3.8	89.9	6.3	87.6	13	14.5	78.4	18.3	75.0					
23	13.4	82.5	16.5	79.6	11	4.7	89.1	7.5	86.4	14	17.8	75.4	21.2	72.3					
24	15.5	80.5	18.3	77.8	12	5.7	88.1	8.9	85.1	15	21.5	72.0	24.2	69.5					
25	17.8	78.2	20.2	76.0	13	7.0	86.9	10.4	83.7	16	25.3	68.5	27.4	66.6					
26	20.3	75.9	22.2	74.1	14	8.6	85.4	12.2	82.1	17	29.2	65.0	30.6	63.7					
27	22.8	73.6	24.3	72.1	15	10.4	83.7	14.1	80.3	<i>k</i> = 0.10									
28	25.3	71.2	26.4	70.1	16	12.6	81.6	16.2	78.3	1	0.0	90.9	0.0	90.9					
29	27.9	68.8	28.5	68.1	17	15.2	79.3	18.5	76.2	2	0.4	90.5	0.8	90.2					
<i>k</i> = 0.06					18	18.1	76.6	21.0	73.9	3	1.0	90.0	1.8	89.3					
1	0.0	94.3	0.0	94.3	19	21.1	73.7	23.5	71.5	4	1.6	89.5	2.8	88.3					
2	0.2	94.2	0.3	94.0	20	24.4	70.7	26.2	69.0	5	2.3	88.8	4.1	87.2					
					21			28.9	66.5	6	2.2	88.0	5.5	85.5					

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

Con base en el ejemplo anterior:

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

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

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

y

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

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)				
n	i	m	i	m	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	$k = 0.04$									
122			17.5	81.7	60			16.8	81.5										
123			18.1	81.1	61			17.9	80.5	1	0.0	96.2	0.0	96.2					
124			18.8	80.4	62			18.9	79.5	2	0.1	96.1	0.2	96.0					
125			19.4	79.8	63			19.9	78.5	3	0.2	96.0	0.3	95.9					
126			20.0	79.2	64			21.0	77.5	4	0.2	95.9	0.5	95.7					
127			20.6	78.6	65			22.0	76.4	5	0.2	95.8	0.7	95.5					

FIN DE LA TERCERA PARTE

