

(7) Coeficiente de blindaje y grado de equilibrio de la línea de comunicación

(i) Aunque el coeficiente de blindaje de la línea de comunicación varía según la capa de blindaje que se utilice, se adoptará el valor de medición práctica o el valor de diseño. En el Cuadro 4.6 se indican los valores del coeficiente de blindaje  $K_1$ .

Cuadro 4.6 Coeficiente de blindaje  $K_1$  de la línea de comunicación

Clase de cable de comunicación	Coeficiente de blindaje $K_1$		Nota
	60 Hz	800 Hz	
Alambre desnudo, alambre RD, cable sin capa de blindaje	1,0	1,0	
Cable con forro de plomo, cable con capa de blindaje	0,95	0,15	En el caso de que la capa de blindaje fuera fina
Cable con blindaje de fleje de acero	0,6	0,1	
Cable con blindaje de fleje de acero	0,2	0,03	Cable de alto blindaje
Cable de conductos	0,2	0,03	

(ii) El grado de equilibrio  $\lambda$  del circuito de comunicación, se utiliza el valor de medición práctica cuando existan los valores de medición y en el caso de que no los existan, se adoptarán los valores del Cuadro 4.7.

Cuadro 4.7 Grado de equilibrio  $\lambda$  del circuito de comunicación

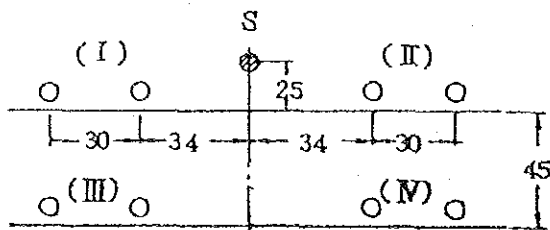
Clase	Grado de equilibrio $\lambda$	Nota
Línea de comunicación de conductor desnudo	$\frac{1}{200}$ (46 dB)	
Cable de comunicación, alambre RD	$\frac{1}{1000}$ (60 dB)	(En los cables nuevos, muchos están en alrededor de 70 dB)
Conmutador a magneto	$\frac{1}{1000}$ (60 dB)	
Conmutador automático	$\frac{1}{200}$ (46 dB)	
Conmutador de batería común	$\frac{1}{200}$ (46 dB)	

(8) Coeficiente de blindaje  $K_2$  de la línea de pantalla

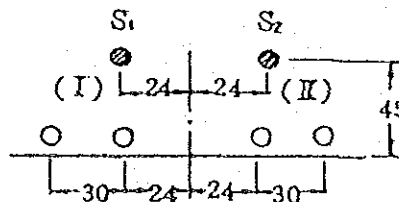
En el Cuadro 4.8 se detalla el ejemplo del coeficiente de blindaje de la línea de pantalla de la línea de comunicación desnuda.

Cuadro 4.8 Coeficiente de blindaje  $K_2$  de la línea de puesta a tierra

En el caso de un hilo de línea de apantallamiento



En el caso de dos hilos de línea de apantallamiento



Cantidad de hilos de la línea de apantallamiento	Posición del circuito	Resistencia de tierra ( $\Omega/\text{km}$ )					
		0		0,5		1	
		4 mm Cu	5 mm Cu	4 mm Cu	5 mm Cu	4 mm Cu	5 mm Cu
1	(I) (II)	0,867	0,776	0,913	0,872	0,940	0,915
1	(III) (IV)	0,872	0,785	0,916	0,877	0,942	0,917
2	(I) (II)	0,736	0,597	0,862	0,816	0,917	0,901

$f = 50 \text{ Hz}$     $\sigma = 0,01 \text{ s/m}$    S: Línea de apantallamiento

(9) Coeficiente de blindaje  $K_3$  de otras vías

El coeficiente de blindaje de otras vías para el caso de que las otras vías estén próximas al circuito de alimentación, se obtiene mediante el Cuadro 4.9 y las Fig. 4.17 - Fig. 4.20.

Cuadro 4.9 Coeficiente de blindaje debido a otras vías ( $K_3$ )

Posición de las otras vías	Cantidad de otras vías	Longitud de exposición paralela			
		500 - menos de 1000 m	1000 - menos de 1500 m	1500 - menos de 3000 m	Más de 3000 m
En el caso de que esté entre la línea de comunicación y el circuito de alimentación	1	0,93	0,87	0,81	Fig. 4.17
	2	0,87	0,76	0,67	Fig. 4.19
	3	0,83	0,71	0,60	---
	4	0,80	0,65	0,54	---
En el caso de que esté fuera de la línea de comunicación y el circuito de alimentación	1	0,97	0,95	0,92	Fig. 4.18
	2	0,95	0,90	0,86	Fig. 4.20
	3	0,93	0,88	0,84	---
	4	0,92	0,86	0,82	---

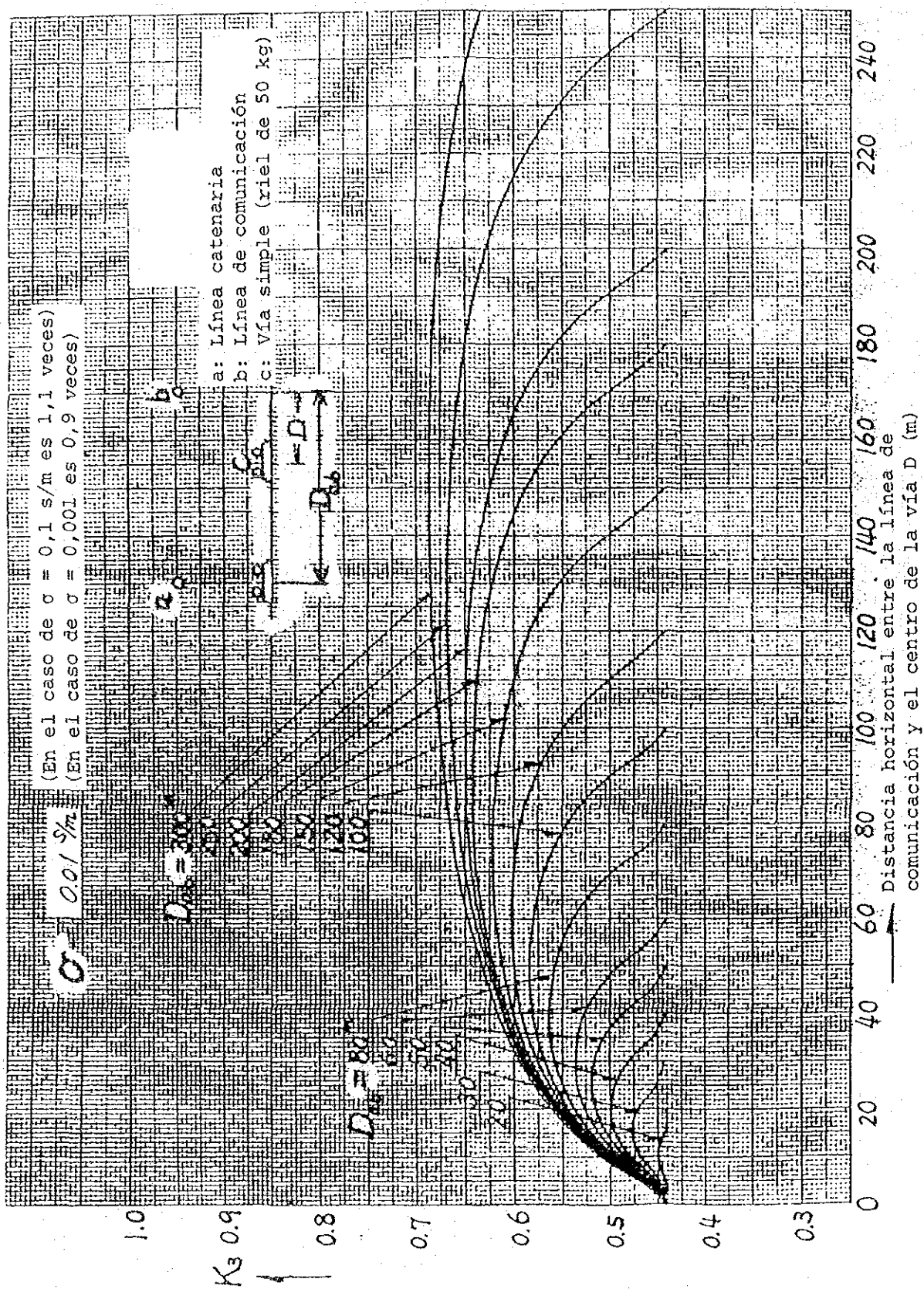


Fig. 4.17 Coeficiente de blindaje  $K_3$  debido a otras vías (Vía simple)

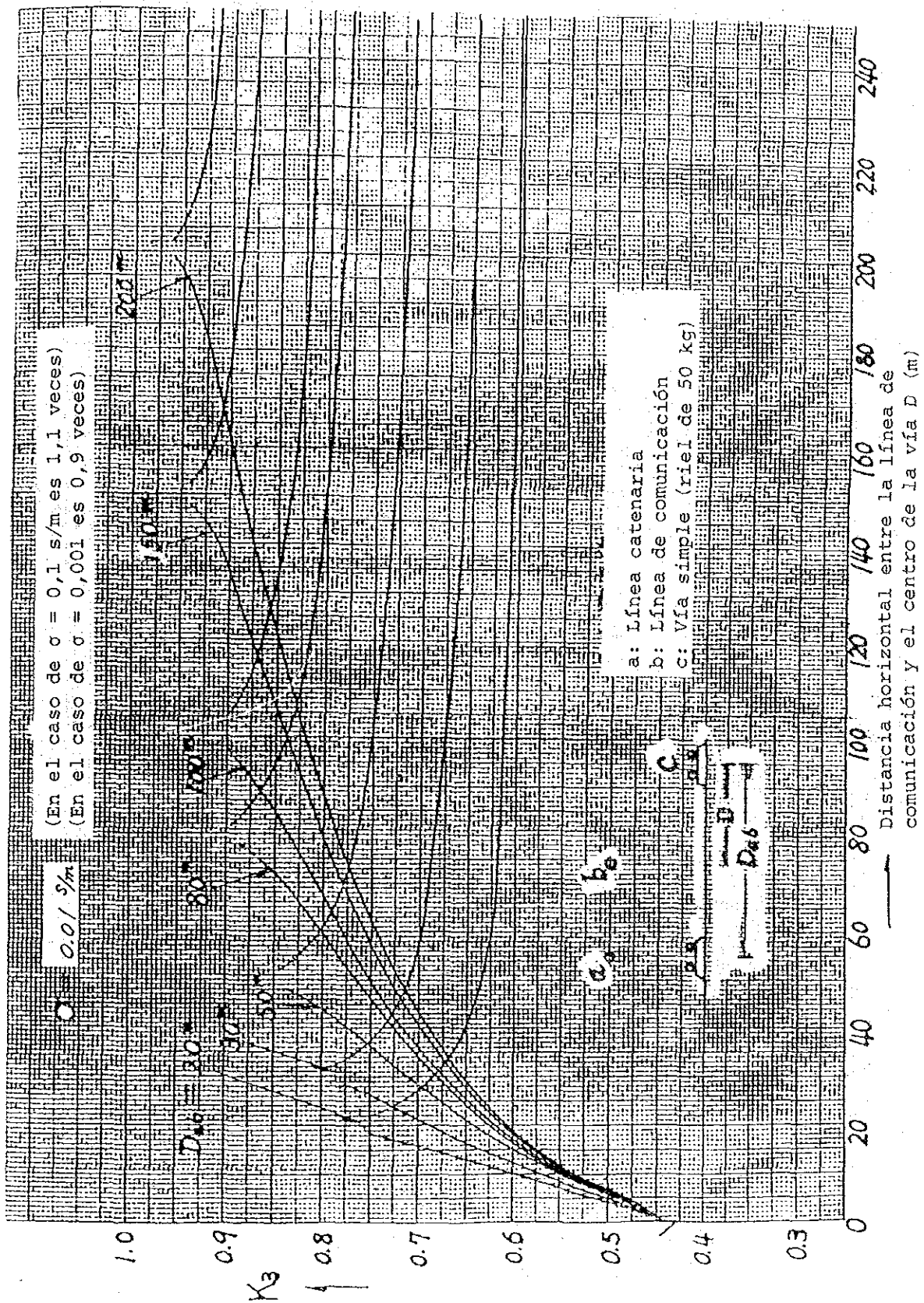


Fig. 4.18 Coeficiente de blindaje  $K_3$  debido a otras vías (Vía simple)

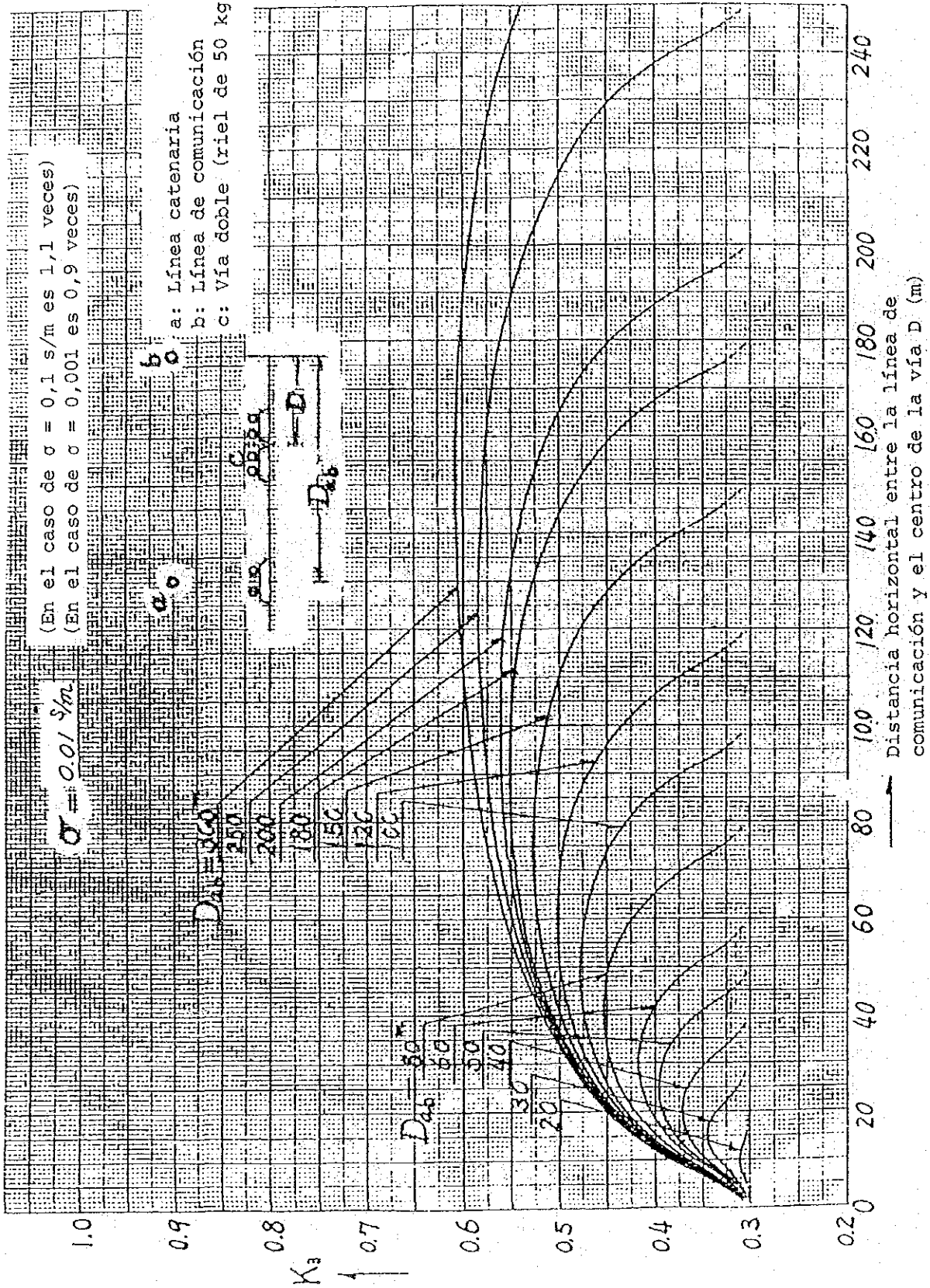


Fig. 4.19 Coeficiente de blindaje  $K_3$  debido a otras vías (Vía doble)

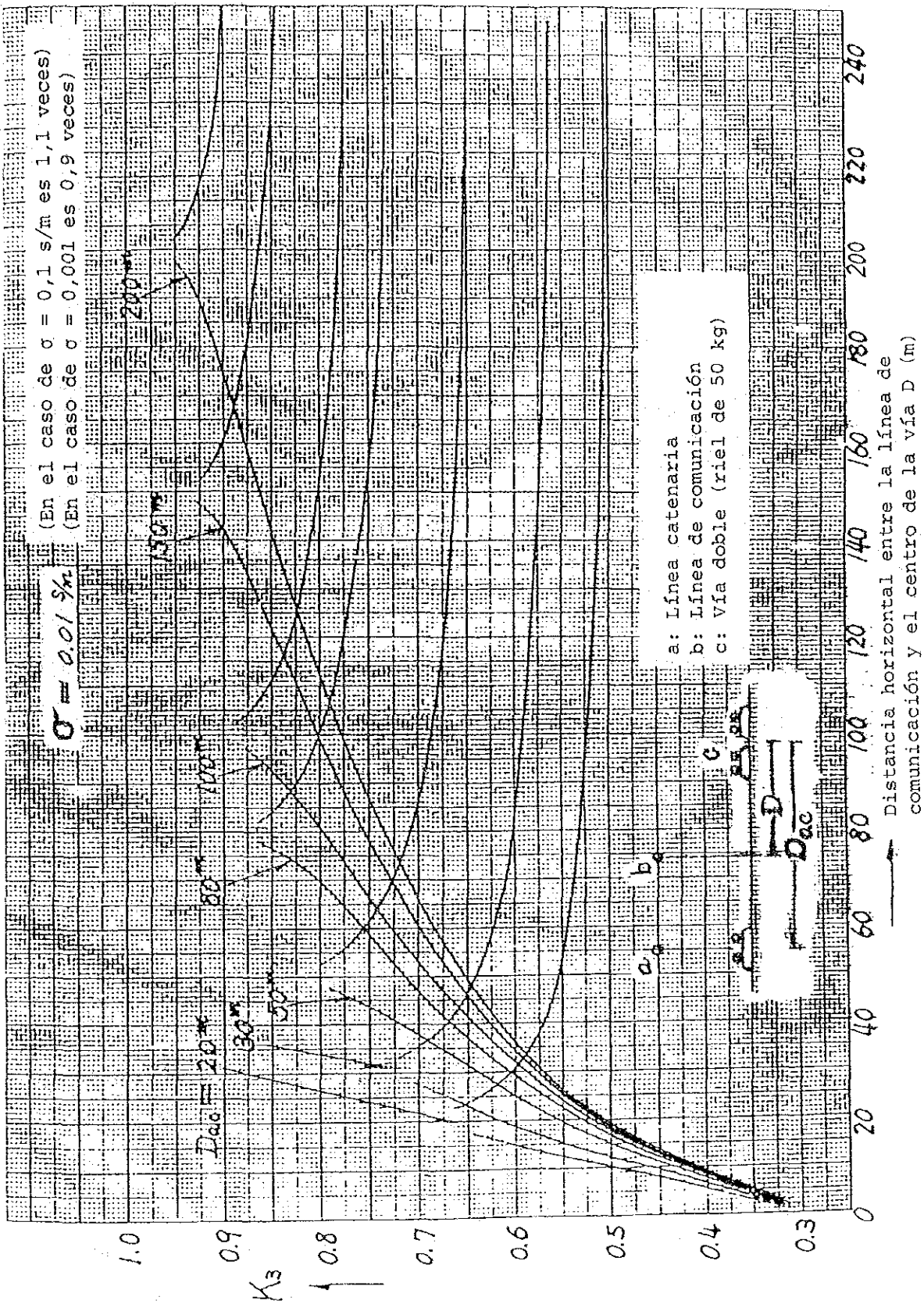


Fig. 4.20 Coeficiente de blindaje  $K_3$  debido a otras vías (Vía doble)



(10) Coeficiente de blindaje  $K_4$  del túnel

El coeficiente de blindaje del túnel se obtiene del Cuadro 4.10.

Cuadro 4.10 Coeficiente de blindaje  $K_4$  del túnel

Longitud del túnel (m) Conductividad de la tierra $\sigma$ (s/m)	0 - menos de 500 m	500 - menos de 1000 m	Más de 1000 m	
			Ambos extremos 500 m	Tramo fuera de lo indicado a la izquierda
$\sigma \geq 0,06$	1,0	0,800	0,800	0,600
$0,06 > \sigma \geq 0,006$	1,0	0,785	0,785	0,570
$0,006 > \sigma$	1,0	0,775	0,775	0,550

El coeficiente de blindaje del túnel, se aplica en el caso de que el túnel tenga barra de refuerzo y no se aplica para los túneles sin armadura de hierro.

(11) Coeficiente de blindaje  $K_5$  de vías elevadas

El coeficiente de blindaje debido a las vías elevadas, se obtiene del Cuadro 4.11.

Cuadro 4.11 Coeficiente de blindaje  $K_5$  de las vías elevadas

Altura de la vía elevada (m) Conductividad de la tierra $\sigma$ (s/m)	0 - menos de 500 m	500 - menos de 1000 m	Más de 1000 m	
			Ambos extremos 500 m	Tramo fuera de lo indicado a la izquierda
$\sigma \geq 0,06$	1,0	0,785	0,785	0,57
$0,06 > \sigma \geq 0,006$	1,0	0,77	0,77	0,54
$0,006 > \sigma$	1,0	0,76	0,76	0,52

- (12) Coeficiente de blindaje  $K_6$  debido a la corriente de derivación de la corriente del riel

El coeficiente de blindaje debido a la corriente de derivación de la corriente del riel se obtiene de los Cuadros 4.12 y 4.13.

Cuadro 4.12 Coeficiente de blindaje  $K_6$  debido a la corriente de derivación de la corriente del riel (60 Hz)

Distancia desde la subestación o el puesto de seccionamiento de alimentación (km)	$K_s$		Nota
	Resistencia de fuga del riel $3 \Omega \cdot \text{km}$	Resistencia de fuga del riel $1 \Omega \cdot \text{km}$	
0 ~ 1	0,59	0,65	
1 ~ 2	0,75	0,87	
2 ~ 3	0,86	0,97	
3 ~ 4	0,94	1,0	
4 ~ 5	0,98	1,0	

Cuadro 4.13 Coeficiente de blindaje  $K_6$  debido a la corriente de derivación de la corriente del riel (800 Hz)

Distancia desde la subestación o el puesto de seccionamiento de alimentación (km)	$K_s$		Nota
	Resistencia de fuga del riel $3 \Omega \cdot \text{km}$	Resistencia de fuga del riel $1 \Omega \cdot \text{km}$	
0 ~ 1	0,74	0,84	
1 ~ 2	0,98	1,0	
2 ~ 3	1,0	1,0	

- (13) Tensión de inducción electrostática  $V_s$  y corriente de inducción electrostática  $I_s$

La tensión de inducción electrostática que se produce en la línea de comunicación desnuda o cable de comunicación que no tenga la capa de blindaje para el caso de la vía simple se indica en la Fig. 4.21 y para el caso de vía doble se indica en la Fig. 4.22.

Asimismo, con respecto a la corriente de inducción electrostática  $I_s$  se indica en la Fig. 4.23.

En el Cuadro 4.14 se indica el coeficiente de blindaje electrostático  $k$  debido al alambre de tierra aéreo, etc.

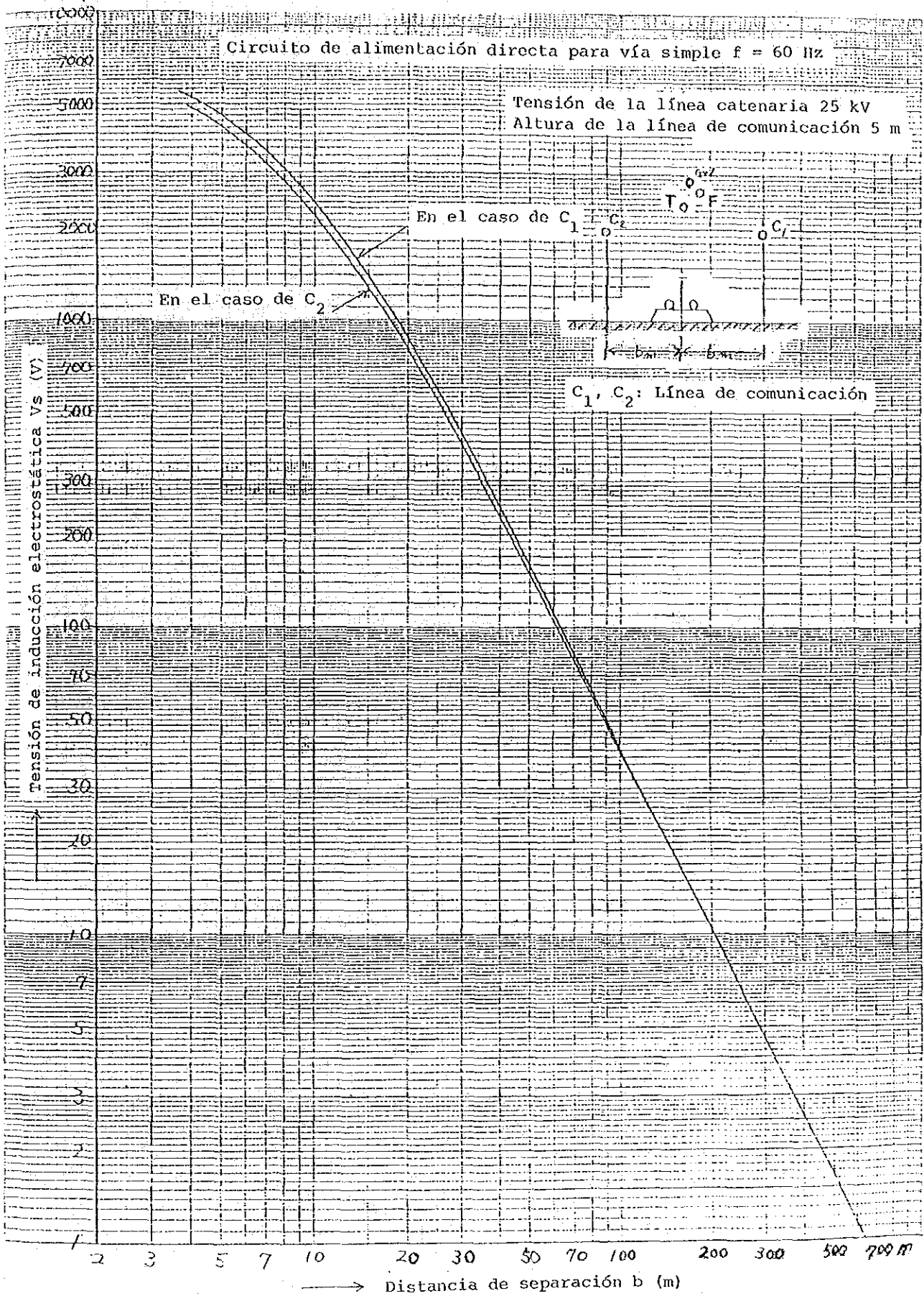


Fig. 4.21 Tensión de inducción electrostática Vs

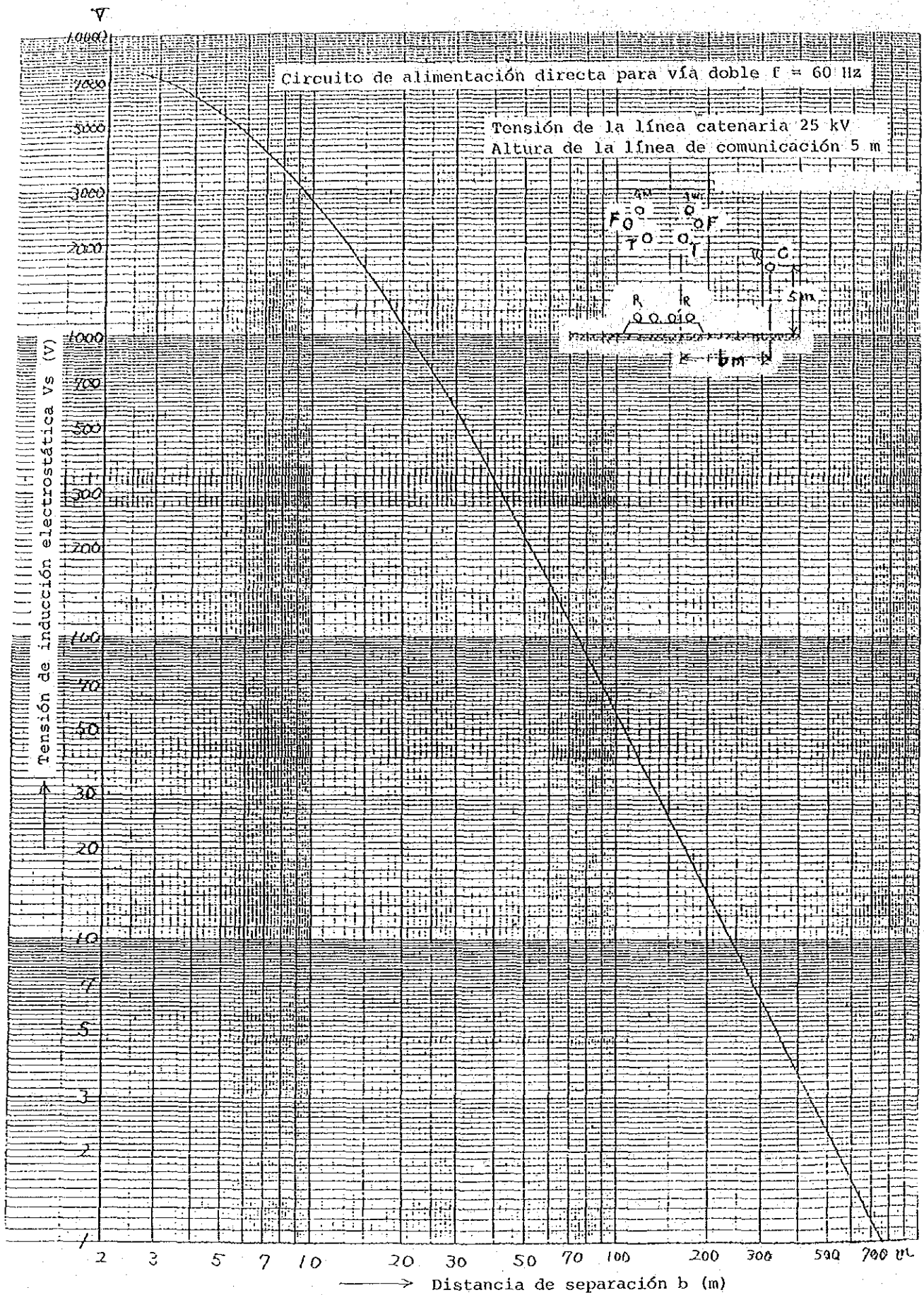


Fig. 4.22 Tensión de inducción electrostática Vs

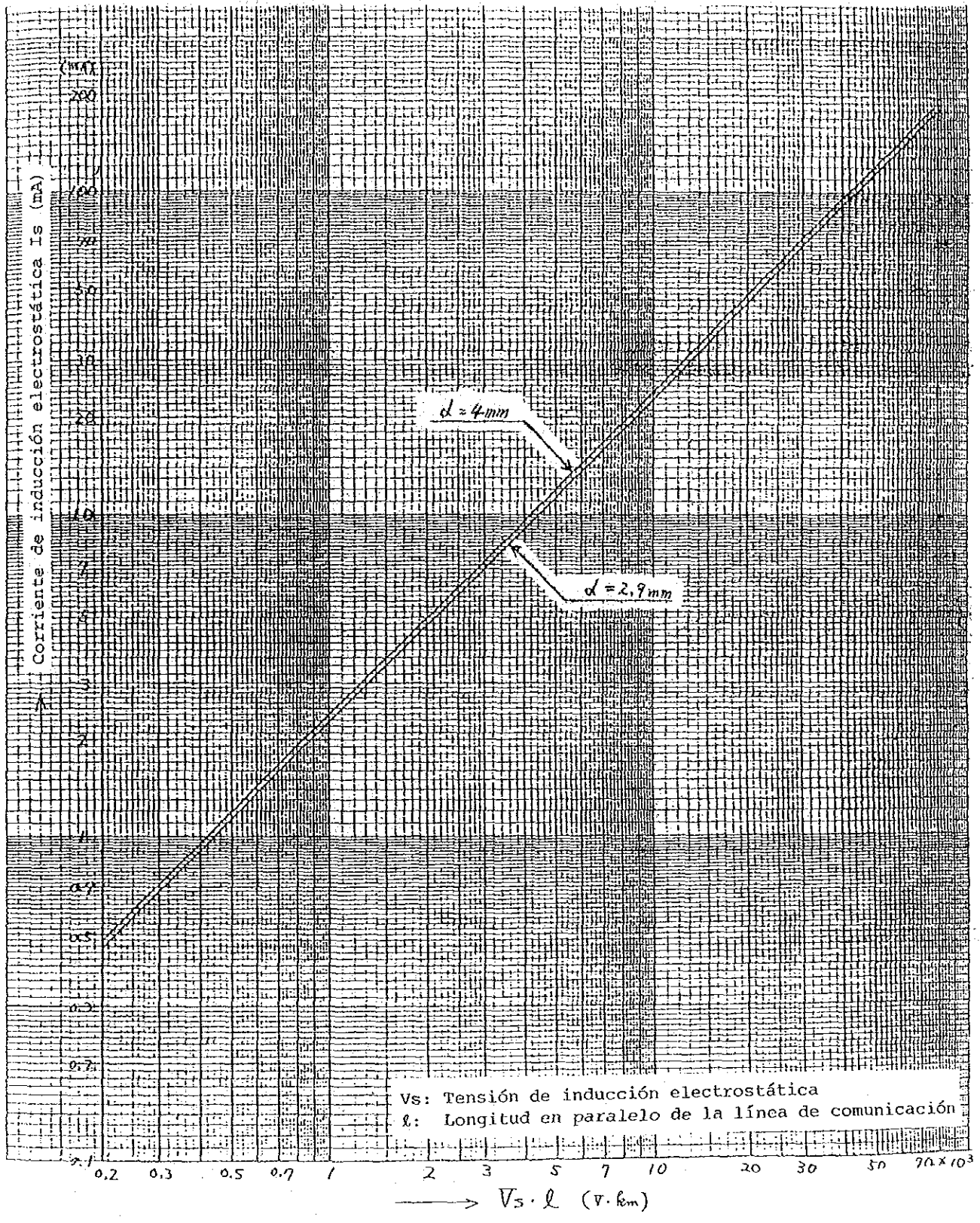


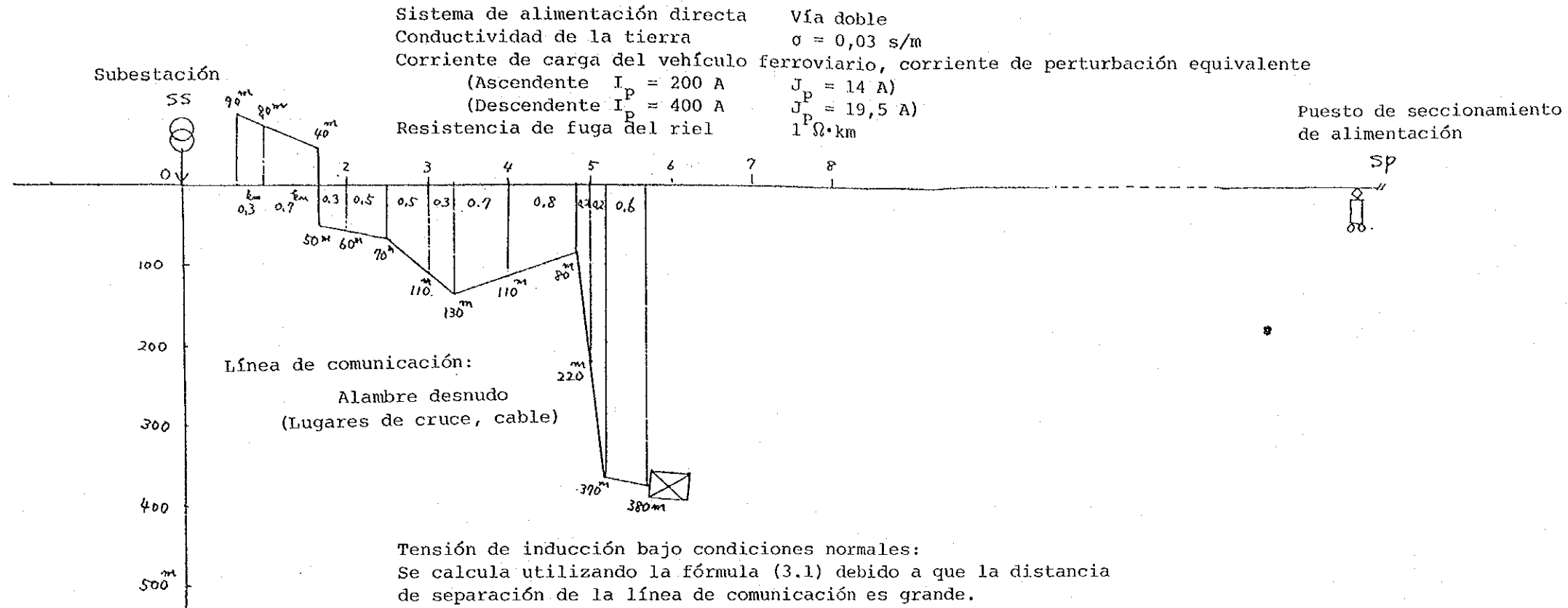
Fig. 4.23 Corriente de inducción electrostática  $I_s$

Cuadro 4.14 Coeficiente de blindaje electrostático k debido al alambre de tierra aéreo y demás

Clase	Coeficiente de blindaje	Observaciones
Alambre de tierra aéreo instalado en la línea catenaria, 1 hilo	0,7	
Alambre de tierra aéreo instalado en la línea catenaria, 2 hilos	0,6	
Alambre de tierra aéreo instalado en la línea catenaria, 3 hilos	0,5	
Alambre de tierra aéreo instalado en la línea de comunicación, 1 hilo	0,7	Se indican los valores normales debido a que se relaciona con la posición de instalación
Alambre de tierra aéreo instalado en la línea de comunicación, 2 hilos	0,6	
Alambre de tierra aéreo instalado en la línea de comunicación, 3 hilos	0,5	
Alambre de tierra aéreo instalado en la línea de comunicación, 4 hilos	0,4	
Arboles y edificaciones que existen entre la línea catenaria y la línea de comunicación	0,7	
Arboles y edificaciones de las proximidades de la línea de comunicación	0,7	

5. Ejemplos del cálculo estimativo

Ejemplo de cálculo para el cálculo estimativo de la inducción (1) - 1

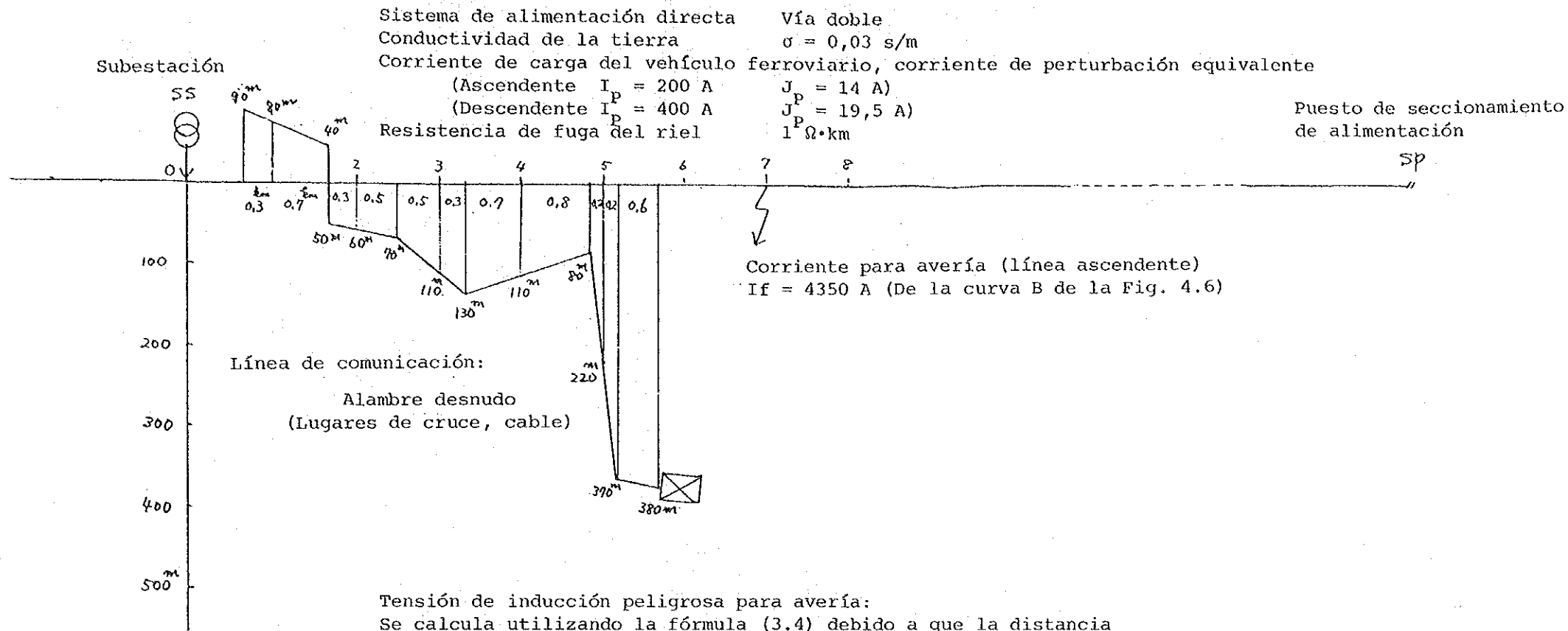


Distancia de separación b (m)	90	80	40	0	50	60	70	110	130	110	80	220	370 380	
Distancia de separación promedio $b_m$ (m)	85	60	20	25	55	65	90	120	120	95	150	295	375	
Longitud de exposición paralela $l$ (km)	0,3	0,7	0	0	0,3	0,5	0,5	0,3	0,7	0,8	0,2	0,2	0,6	
$M_{60}$ ( $\mu\text{H}/\text{km}$ )	385	450	660	615	465	435	380	322	322	367	283	170	133	Fig. 4.4
$M_{60} \cdot l$ ( $\mu\text{H}$ )	116	315	0	0	140	218	190	97	225	294	57	34	80	
1-n	0,362	0,362	0,362	0,362	0,362	0,362	0,362	0,362	0,362	0,362	0,362	0,362	0,362	Cuadro 4.4, Fig. 4.8
Ascendente $I_p$ (A)	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	
Descendente $I_p$ (A)	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	
Ascendente $\omega_{60} M_{60} I_p (1-n) \cdot l \times 10^{-6}$	3,17	8,60	0	0	3,82	5,95	5,19	2,65	6,14	8,02	1,56	0,93	2,18	Fórmula (3.1)
Descendente $\omega_{60} M_{60} I_p (1-n) \cdot l \times 10^{-6}$	6,33	17,20	0	0	7,64	11,90	10,37	5,30	12,28	16,05	3,11	1,86	4,37	Fórmula (3.1)
$K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5$	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	Cuadro 4.6, Cuadro 4.8, Cuadro 4.9, Cuadro 4.10, Cuadro 4.11
$K_6$	0,65	0,87	0,87	0,87	0,87	0,97	0,97	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	Cuadro 4.12
Ascendente $V_m(\text{Ascendente}) = \omega_{60} M_{60} I_p (1-n) \cdot l \cdot K_6 \times 10^{-6}$	2,06	7,48	0	0	3,32	5,77	5,03	2,65	6,14	8,02	1,56	0,93	2,18	Fórmula (3.1) Total 45,14 V
Descendente $V_m(\text{Descendente}) = \omega_{60} M_{60} I_p (1-n) \cdot l \cdot K_6 \times 10^{-6}$	4,11	14,96	0	0	6,65	11,54	10,06	5,30	12,28	16,05	3,11	1,86	4,37	Fórmula (3.1) Total 90,29 V
Ascendente y descendente														Total de las líneas ascendente y descendente $V_m = 135,4 \text{ V}$
Total $V_m = V_m(\text{ascendente}) + V_m(\text{descendente})$														

Excede el valor de límite de 60 V (Al utilizarse el cable blindado con un coeficiente de blindaje de 0,44 para 60 Hz, resulta  $V_m = 59,6 \text{ V}$ .)



Ejemplo de cálculo para el cálculo estimativo de la inducción (1) - 2

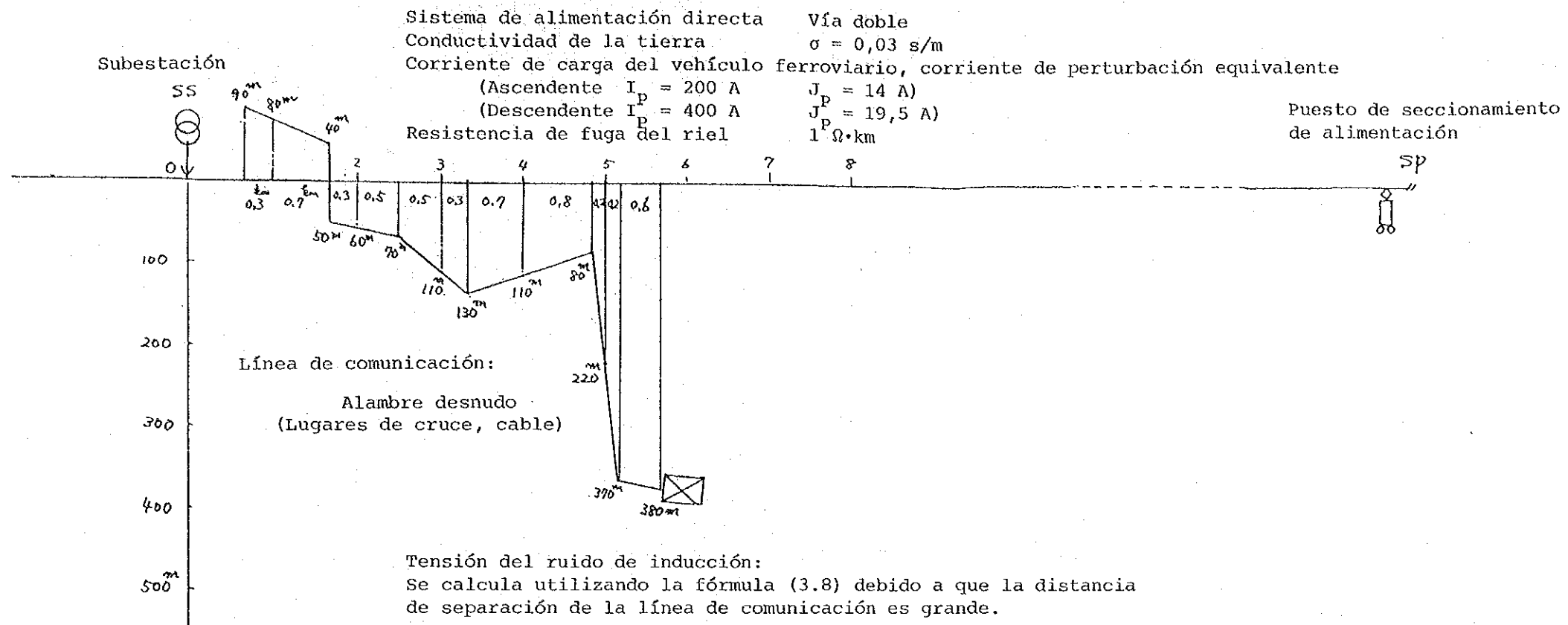


Tensión de inducción peligrosa para avería:  
Se calcula utilizando la fórmula (3.4) debido a que la distancia de separación de la línea de comunicación es grande.

Distancia de separación b (m)	90	80	40	0	50	60	70	110	130	110	80	220	370 380	
Distancia de separación promedio b <sub>m</sub> (m)	85	60	20	25	55	65	90	120	120	95	150	295	375	
Longitud de exposición paralela l (km)	0,3	0,7	0	0	0,3	0,5	0,5	0,3	0,7	0,8	0,2	0,2	0,6	
M <sub>60</sub> (μH/km)	385	450	660	615	465	435	380	322	322	367	283	170	133	Fig. 4.4
M <sub>60</sub> · l (μH)	116	315	0	0	140	218	190	97	225	294	57	34	80	
1-n	0,362	0,362	0,362	0,362	0,362	0,362	0,362	0,362	0,362	0,362	0,362	0,362	0,362	Cuadro 4.4, Fig. 4.8
Corriente para avería I <sub>f</sub> (A)	4350	4350	4350	4350	4350	4350	4350	4350	4350	4350	4350	4350	4350	Fig. 4.6 (Curva B)
$\omega_{60} M_{60} I_f (1-n) \cdot l \times 10^{-6}$	68,9	187,0	0	0	83,1	129,4	112,8	57,6	133,6	174,5	33,8	20,2	47,5	Fórmula (3.4)
K <sub>1</sub> · K <sub>2</sub> · K <sub>3</sub> · K <sub>4</sub> · K <sub>5</sub>	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	Cuadro 4.6, Cuadro 4.8, Cuadro 4.9, Cuadro 4.10, Cuadro 4.11
K <sub>6</sub>	0,65	0,87	0,87	0,87	0,87	0,97	0,97	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	Cuadro 4.12
$V_f = \omega_{60} M_{60} I_f (1-n) \cdot l \cdot K_6 \times 10^{-6}$	44,8	162,7	0	0	72,3	125,5	109,4	57,6	133,6	174,5	33,8	20,2	47,5	Fórmula (3.4) Total 981,9 V

Excede el valor de límite de 430 V (Al utilizarse el cable blindado con un coeficiente de blindaje de 0,43 para 60 Hz, resulta V<sub>f</sub> = 422,2 V.)

Ejemplo de cálculo para el cálculo estimativo de la inducción (1) - 3

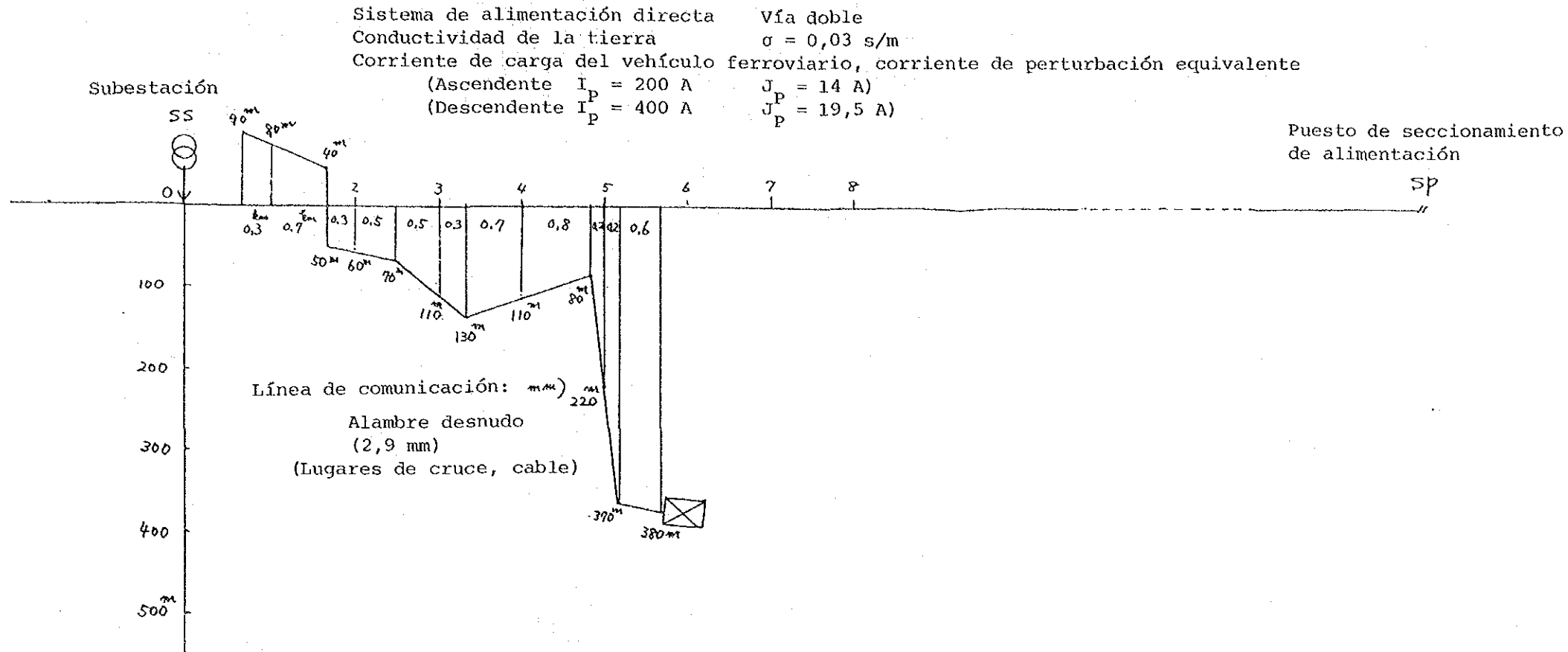


Tensión del ruido de inducción:  
Se calcula utilizando la fórmula (3.8) debido a que la distancia de separación de la línea de comunicación es grande.

Distancia de separación b (m)	90	80	40	0	50	60	70	110	130	110	80	220	370	380	
Distancia de separación promedio bm (m)	85	60	20	25	55	65	90	120	120	95	150	295	375		
Longitud de exposición paralela l (km)	0,3	0,7	0	0	0,3	0,5	0,5	0,3	0,7	0,8	0,2	0,2	0,6		
$M_{800}$ ( $\mu\text{H}/\text{km}$ )	161	218	0	0	233	203	153	113	113	146	85	26,8	16,0		Fig. 4.5
$M_{800} \cdot l$ ( $\mu\text{H}$ )	48,3	152,6	0	0	69,9	101,5	76,5	33,9	79,1	116,8	17,0	5,4	9,6		
1-n	0,375	0,375	0,375	0,375	0,375	0,375	0,375	0,375	0,375	0,375	0,375	0,375	0,375	0,375	Cuadro 4.5, Fig. 4.8
Ascendente $I_p$ (A)	10,22	10,22	10,22	10,22	10,22	10,22	10,22	10,22	10,22	10,22	10,22	10,22	10,22	10,22	(El valor $J_p$ del conductor desnudo se fija en 0,73 veces)
Descendente $I_p$ (A)	14,23	14,23	14,23	14,23	14,23	14,23	14,23	14,23	14,23	14,23	14,23	14,23	14,23	14,23	( Igual que arriba )
Ascendente $\omega_{800} M_{800} J_p (1-n) \cdot l \cdot \lambda \times 10^{-3}$	4,65	14,70	0	0	6,73	9,78	7,37	3,27	7,62	11,25	1,64	0,52	0,92		Fórmula (3.8) Grado de equilibrio $\lambda = 1/200$ , Cuadro 4.7
Descendente $\omega_{800} M_{800} J_p (1-n) \cdot l \cdot \lambda \times 10^{-3}$	6,48	20,47	0	0	9,37	13,61	10,26	4,55	10,61	15,66	2,28	0,72	1,29		Fórmula (3.8) Grado de equilibrio $\lambda = 1/200$ , Cuadro 4.7
$K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5$	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
$K_6$	0,84	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	Cuadro 4.13
Ascendente $V_n(\text{Ascendente}) = \omega_{800} M_{800} J_p (1-n) \cdot l \cdot \lambda \cdot K_6 \times 10^{-3}$	3,91	14,70	0	0	6,73	9,78	7,37	3,27	7,62	11,25	1,64	0,52	0,92		Fórmula (3.8) Total 67,71 mV
Descendente $V_n(\text{Descendente}) = \omega_{800} M_{800} J_p (1-n) \cdot l \cdot \lambda \cdot K_6 \times 10^{-3}$	5,44	20,47	0	0	9,37	13,61	10,26	4,55	10,61	15,66	2,28	0,72	1,29		Fórmula (3.8) Total 94,26 mV
$V_n = \sqrt{V_n(\text{Ascendente})^2 + V_n(\text{Descendente})^2}$															Total de las líneas ascendente y descendente $\sqrt{67,71^2 + 94,26^2} = 116,1$ mV

Excede el valor de límite de 5 mV (Al utilizarse el cable blindado con un coeficiente de blindaje de 0,01 para 800 Hz con grado de equilibrio de 1/400 ( $\lambda = 52$  dB), resulta  $V_n = 0,80$  mV.)

Ejemplo de cálculo para el cálculo estimativo de la inducción (1) - 4

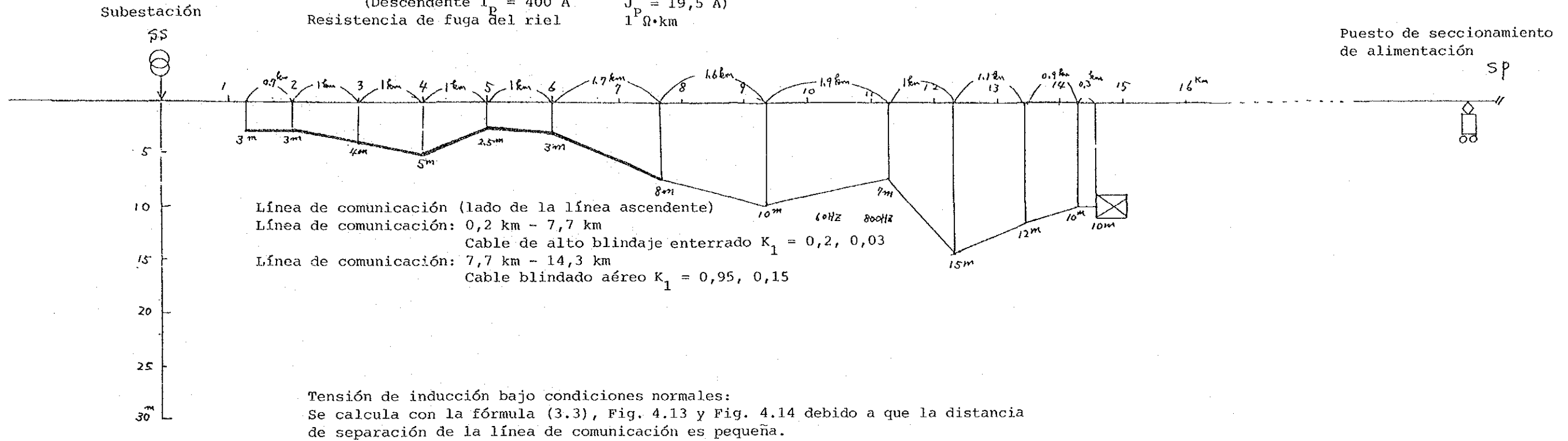


Corriente de inducción electrostática y tensión de inducción electrostática

Distancia de separación b (m)	90	80	40	0	50	60	70	110	130	110	80	220	370 380		
Distancia de separación promedio $b_m$ (m)	85	60	20	25	55	65	90	120	120	95	150	295	375		
Longitud de exposición paralela $l$ (km)	0,3	0,7	0	0	0,3	0,5	0,5	0,3	0,7	0,8	0,2	0,2	0,6		
$V_s$ (V)	77	150	1050	750	177	128	69	39	39	62	25	6,6	4,1	Fig. 4.22	
$V_s \cdot l$ (V·km)	23,1	105	0	0	53,1	64	34,5	11,7	27,3	49,6	5,0	1,3	2,5	$\sum V_s l = 377,1 \text{ (V·km)}$	
Tensión de inducción electrostática $V_s = \sum V_s \cdot l / \sum l$ (V)														$V_s = 73,9 \text{ V } (\sum l = 5,1 \text{ km})$	.... Menos del valor de límite
$V_s' = V_s \cdot \sum l / \sum l'$ (V)														$V_s = 72,7 \text{ V } (\sum l' = 5,19 \text{ km})$	.... Se agrega 90 m de longitud del cable del lugar de cruce
Corriente de inducción electrostática $I_s$ (mA)														Fig. 4.23 $I_s = 0,85 \text{ mA}$	.... Menos del valor de límite

Ejemplo de cálculo para el cálculo estimativo de la inducción (2) - 1

Sistema de alimentación directa Vía doble  
 Conductividad de la tierra  $\sigma = 0,2 \text{ s/m}$   
 Corriente de carga del vehículo ferroviario, corriente de perturbación equivalente  
 (Ascendente  $I_P = 200 \text{ A}$   $J_P = 14 \text{ A}$ )  
 (Descendente  $I_P = 400 \text{ A}$   $J_P = 19,5 \text{ A}$ )  
 Resistencia de fuga del riel  $1 \Omega \cdot \text{km}$

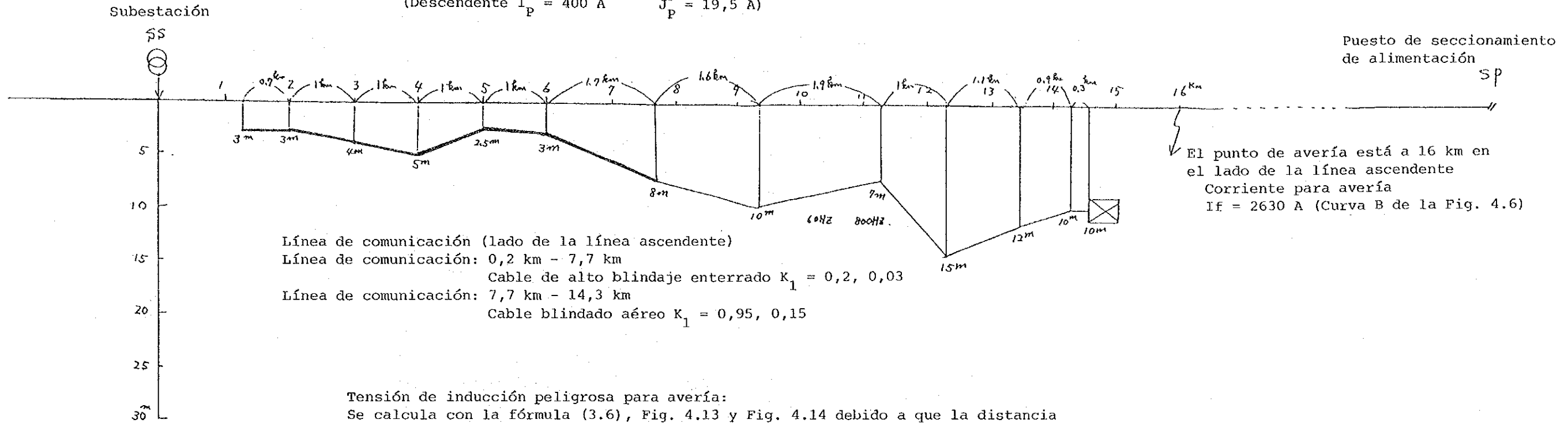


Distancia de separación b (m)	3	3	4	5	2,5	3	8	10	7	15	12	10	10	
Distancia de separación promedio $b_m$ (m)	3,0	3,5	4,5	3,7	2,7	5,5	9,0	8,5	11	13,5	11	10		
Longitud de exposición paralela $l$ (km)	0,7	1,0	1,0	1,0	1,0	1,7	1,6	1,9	1,0	1,1	0,9	0,3		
Ascendente $V_m/A \cdot \text{km}$ (V/A·km)	0,077	0,08	0,084	0,078	0,074	0,086	0,111	0,114	0,104	0,097	0,104	0,109		Fig. 4.13
Ascendente $V_m = (V_m/A \cdot \text{km}) I_P \cdot l$ (V)	10,78	16,0	16,8	15,6	14,8	29,24	35,52	43,32	20,8	21,34	18,72	6,54		$I_P = 200 \text{ A}$
$K_6$	0,87	0,97	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0		Cuadro 4.12
Ascendente $V_m \cdot K_6$ (V)	9,38	15,52	16,8	15,6	14,8	29,24	35,52	43,32	20,8	21,34	18,72	6,54		Total 247,6 V
$K_1$	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95		Cuadro 4.6
Ascendente $V_m(\text{Ascendente}) = V_m \cdot K_1 \cdot K_6$ (V)	1,88	3,10	3,36	3,12	2,96	5,85	33,74	41,15	19,76	20,27	17,78	6,21		Total de la línea ascendente 159,2 V
			(20,27)						(138,9)					
Descendente $V_m/A \cdot \text{km}$ (V/A·km)	0,062	0,063	0,066	0,064	0,06	0,067	0,081	0,082	0,078	0,074	0,078	0,08		Fig. 4.14
Descendente $V_m = (V_m/A \cdot \text{km}) I_P \cdot l$ (V)	17,36	25,20	26,4	25,6	24,0	45,56	51,84	62,32	31,2	32,56	28,08	9,6		$I_P = 400 \text{ A}$
Descendente $V_m \cdot K_6$ (V)	15,10	24,44	26,4	25,6	24,0	45,56	51,84	62,32	31,2	32,56	28,08	9,6		Total 376,7 V
$K_1$	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95		Cuadro 4.6
Descendente $V_m(\text{Descendente}) = V_m \cdot K_1 \cdot K_6$ (V)	3,02	4,89	5,28	5,12	4,8	9,11	49,25	59,20	29,64	30,93	26,68	9,12		Total de la línea descendente 237,0 V
Total de las líneas ascendente y descendente $V_m(\text{ascendente}) + V_m(\text{descendente})$			(32,22)						(204,8)					Total de las líneas ascendente y descendente 396,2 V

Excede el valor de límite de 60 V (Al usarse el cable blindado con coeficiente de blindaje de 0,096 para 60 Hz, resulta  $V_m = 59,9 \text{ V}$ .)

Ejemplo de cálculo para el cálculo estimativo de la inducción (2) - 2

Sistema de alimentación directa Vía doble  
 Conductividad de la tierra  $\sigma = 0,2 \text{ s/m}$   
 Corriente de carga del vehículo ferroviario, corriente de perturbación equivalente  
 (Ascendente  $I_P = 200 \text{ A}$   $J_P = 14 \text{ A}$ )  
 (Descendente  $I_P = 400 \text{ A}$   $J_P = 19,5 \text{ A}$ )

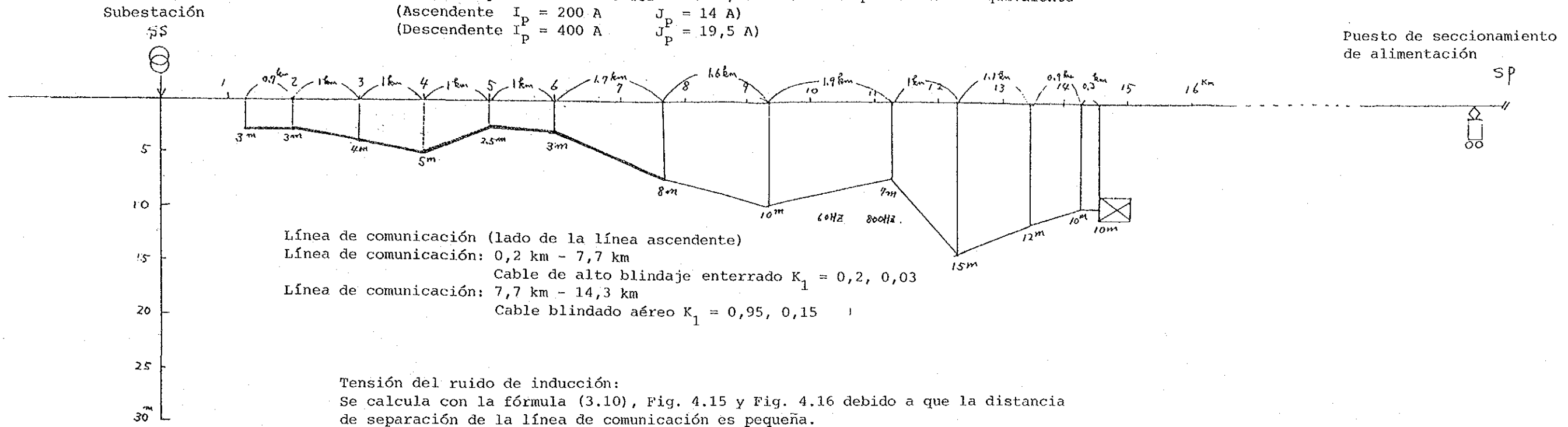


Distancia de separación b (m)	3	3	4	5	2.5	3	8	10	7	15	12	10	10	
Distancia de separación promedio $b_m$ (m)	3,0	3,5	4,5	3,7	2,7	5,5	9,0	8,5	11	13,5	11	10		
Longitud de exposición paralela $l$ (km)	0,7	1,0	1,0	1,0	1,0	1,7	1,6	1,9	1,0	1,1	0,9	0,3		
Ascendente $V_m/A \cdot km$ (V/A·km)	0,077	0,08	0,084	0,078	0,074	0,086	0,111	0,114	0,104	0,097	0,104	0,109		Fig. 4.13
Corriente para avería $I_f$ (A)	2630	2630	2630	2630	2630	2630	2630	2630	2630	2630	2630	2630		Curva B de la Fig. 4.6
$V_f = (V_m/A \cdot km) \cdot I_f \cdot l$ (V)	141,8	210,4	220,9	205,1	194,6	384,5	467,1	569,7	273,5	280,6	246,2	86,0		(Total 3280 V)
$K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5$	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0		Cuadro 4.8, Cuadro 4.9, Cuadro 4.10, Cuadro 4.11
$K_1$	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95		Cuadro 4.6
$K_6$	0,87	0,97	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0		Cuadro 4.12
Ascendente $V_{f(Ascendente)} = V_f \cdot K_1 \cdot K_6$ (V)	24,7	40,8	44,2	41,0	38,9	76,9	443,7	541,2	259,8	266,6	233,9	81,7		Total $V_{f(ascendente)} = 2093 \text{ V}$

Excede el valor de límite de 430 V (Al usarse el cable blindado con coeficiente de blindaje de 0,13 para 60 Hz, resulta  $V_f = 423 \text{ V}$ .)

Ejemplo de cálculo para el cálculo estimativo de la inducción (2) - 3

Sistema de alimentación directa Vía doble  
 Conductividad de la tierra  $\sigma = 0,2 \text{ s/m}$   
 Corriente de carga del vehículo ferroviario, corriente de perturbación equivalente  
 (Ascendente  $I_P = 200 \text{ A}$   $J_P = 14 \text{ A}$ )  
 (Descendente  $I_P = 400 \text{ A}$   $J_P = 19,5 \text{ A}$ )



Distancia de separación b (m)	3	3	4	5	2,5	3	8	10	7	15	12	10	10	
Distancia de separación promedio $b_m$ (m)	3,0	3,5	4,5	3,7	2,7	5,5	9,0	8,5	11	13,5	11	10		
Longitud de exposición paralela $l$ (km)	0,7	1,0	1,0	1,0	1,0	1,7	1,6	1,9	1,0	1,1	0,9	0,3		
Ascendente $V_n/A \cdot km$ (V/A·km)	0,61	0,65	0,71	0,66	0,58	0,74	1,10	1,12	1,0	0,9	1,0	1,04		Fig. 4.15
Ascendente $V_n = (V_n/A \cdot km) J_P \cdot l$ (V)	5,98	9,1	9,94	9,24	8,12	17,61	24,64	29,79	14,0	13,86	12,6	4,37		$J_P = 14 \text{ A}$ (Total 159,3 V)
$K_1$	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15		Cuadro 4.6
$K_6$	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0		Cuadro 4.13
Ascendente $V_{n(Ascendente)} = V_n \cdot K_1 \cdot K_6 \cdot \lambda \times 10^3$ (mV)	0,896	1,37	1,49	1,39	1,22	2,64	18,48	22,34	10,5	10,4	9,45	3,28		Cuadro 4.7 Grado de equilibrio $\lambda = 1/200$ Total $V_{n(ascendente)} = 83,46 \text{ mV}$
			(9,01)						(74,45)					
Descendente $V_n/A \cdot km$ (V/A·km)	0,43	0,45	0,48	0,46	0,41	0,5	0,71	0,72	0,66	0,62	0,66	0,69		Fig. 4.16
Descendente $V_n = (V_n/A \cdot km) J_P \cdot l$ (V)	5,87	8,78	9,36	8,97	8,00	16,58	22,15	26,68	12,87	13,30	11,58	4,04		$J_P = 19,5 \text{ A}$ (Total 148,2 V)
$K_1$	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15		Cuadro 4.6
$K_6$	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0		Cuadro 4.13
Descendente $V_{n(Descendente)} = V_n \cdot K_1 \cdot K_6 \cdot \lambda \times 10^3$ (mV)	0,880	1,32	1,40	1,35	1,20	2,49	16,61	20,01	9,65	9,97	8,69	3,03		Cuadro 4.7 Grado de equilibrio $\lambda = 1/200$ Total $V_{n(descendente)} = 86,6 \text{ mV}$
			(8,64)						(67,96)					
Total de las líneas ascendente y descendente $V_n = \sqrt{V_{n(ascendente)}^2 + V_{n(descendente)}^2}$														Total de las líneas ascendente y descendente $V_n = 113,3 \text{ mV}$ (69,5 dB), resulta $V_n = 0,73 \text{ mV.}$

Excede el valor de límite de 1 mV. (En el caso de que el coeficiente de blindaje fuera 0,01 para 800 Hz y grado de equilibrio  $\lambda = 1/3000$  (69,5 dB), resulta  $V_n = 0,73 \text{ mV.}$ )



## 6. Medidas contra la inducción

En el caso de que excedan los valores de límite según los resultados de los cálculos estimativos de la inducción en las líneas de comunicación, es necesario que se tomen las medidas adecuadas contra los inconvenientes de inducción de manera que quede debajo del valor de límite.

Como medidas contra la inducción, están las medidas que se tomen en el lado del circuito de alimentación que corresponde al lado inductor y las medidas que se tomen en el lado de la línea de comunicación que corresponde al lado inducido.

En el caso del sistema de alimentación directa

- (1) Método de las contramedidas que se realicen en el lado del circuito de alimentación
  - (i) Instalar la línea de apantallamiento en las proximidades del circuito de alimentación para reducir la tensión de inducción y la tensión del ruido de inducción por los efectos de blindaje de la línea de apantallamiento.
  - (ii) Incrementar la resistencia de fuga a tierra del riel del circuito de alimentación y reducir la tensión de inducción disminuyendo la fuga de la corriente del riel hacia tierra.
  - (iii) Reducir la corriente perturbadora equivalente, utilizando el filtro en la locomotora, para disminuir la corriente de armónicas de orden superior que fluye por el circuito de alimentación.



(2) Como métodos de las contramedidas que se realicen en el lado de la línea de comunicación pueden citarse los siguientes.

- (i) En el caso de las líneas de comunicación desnudas, se reemplaza por cables bien equilibrados y tengan el blindaje electrostático y electromagnético.
- (ii) Reemplazar los cables que no tengan la capa de blindaje o los cables con poca eficacia de blindaje por cables de alto blindaje con grandes efectos de apantallamiento.
- (iii) Reducir la tensión de inducción mediante el uso de los aparatos para reducción de inducción tales como la bobina de separación, bobina de drenaje de filtrado de ondas, supresores, etc.
- (iv) En el caso de que fuera deficiente el equilibrio de los aparatos conectados a la línea de comunicación (por ejemplo el conmutador telefónico), se reduce la tensión del ruido de inducción mejorando el equilibrio utilizando las bobinas del tipo N, etc.
- (v) Modificar la ruta de la línea de comunicación para aumentar la distancia de separación.
- (vi) Las líneas de comunicación que utilicen los circuitos de retorno por tierra (circuitos telegráficos) deben modificarse en circuitos metálicos.
- (vii) Modificar el sistema de comunicación para adoptar el sistema de ondas portadoras o el sistema PCM (modulación por codificación de impulsos), etc.

**METODO DE CALCULO ESTIMATIVO DE LA INDUCCION  
EN LA COMUNICACION EN EL SISTEMA DE  
ALIMENTACION DIRECTA DE ENERGIA**

- Cuando no exista conexión de alambre de tierra -  
[MATERIAL DE APOYO PARA LAS INFORMACIONES TECNICAS SUMINISTRADAS]

Editado: 30 de setiembre de 1988

©Agencia de Cooperación Internacional del Japón 1988

Planificado y Editado: Agencia de Cooperación Internacional del Japón  
Instituto para Cooperación Internacional  
Edificio Kokusai Kyoryoku Center  
10-5, Ichigaya-Kimuracho, Shinjuku-ku,  
Tokyo 162, Japón  
Teléfono: (03) 269-2357

Autor y redactor: Consultores Eléctricos del Japón, Ltda.

Colaboración: Compañía de Ferrocarriles del Japón Este  
Centro de Servicios de Cooperación Internacional





