



PROYECTO:

**ESTUDIOS Y DISEÑOS DEL CABLE AÉREO EN
SAN CRISTÓBAL, EN BOGOTÁ D.C.**

NOTA DE CÁLCULO DE LÍNEA, SECCIÓN 1

LOCALIZACIÓN:

SAN CRISTÓBAL, BOGOTÁ

PROMOTOR:

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO

Revisión: -

Bogotá, octubre de 2021

PROYECTO:
ESTUDIOS Y DISEÑOS DEL CABLE AÉREO EN SAN CRISTÓBAL, EN
BOGOTÁ D.C.

San Cristóbal, Bogotá

Nota de cálculo de línea, Sección 1

Nombre documento : Nota de calculo de linea CASC Seccion1.docx
Número de proyecto : 2102A117TU

Revisión	Descripción	Redactado por	Verificado por	Aprobado por	Fecha
-	Primera edición	M. Pastor	F. Goya	M. Pastor	06/10/2021

Firmas

Conformidad Promotor

Marc Pastor Vilanova
Ingeniero Mecánico

Elija un elemento.

ÍNDICE

1	CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA LÍNEA.....	3
2	NORMATIVA APLICADA.....	4
3	TABLA DE ESTACIONES Y TORRES DE LÍNEA	5
4	NOTA DE CÁLCULO EL CARGAS REPARTIDAS.....	6
4.1	100% - 0%	7
4.2	0% - 0%	8
4.3	0% - 100%	9
4.4	100% - 100%	10
4.5	Cable desnudo – Cable desnudo	11
5	CÁLCULO EN CARGAS PUNTUALES.....	12
6	RESULTADOS EN CARGAS PUNTUALES.....	16
6.1	Caso 100% - 0%	16
6.2	Caso 0% - 0%	18
6.3	Caso 0% - 100%	20
6.4	Caso 100% - 100%	22
6.5	Resumen de cargas.....	24

1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA LÍNEA

Características generales			Dinámica		
Nombre de la instalación	San Cristóbal, tramo 1		Aceleración	0.15	m/s ²
Tipo	Telecable		Frenada F1	1.00	m/s ²
Vehículos	10	plazas	Frenada F2	1.00	m/s ²
Capacidad	4 000	p/h			
Velocidad nominal	6.0	m/s			
Velocidad de emergencia	1.0	m/s			
Distancia entre vehículos	54.00	m			
Tiempo entre vehículos	9.0	s			
Motriz	amunt	(La Victoria)			
Tensión	avall	(Portal)			
Tensión nominal	70 000	daN			
Vehículo			Hipótesis		
Tipo	Cabina		Rozamiento poleas extremas	0.3%	
Peso en vacío	957	daN	Rozamiento poleas de línea	2.8%	
Peso pasajero	73.6	daN			
Peso vehículo cargado	1 693	daN			
Sup. frontal		m ²			
Sup. lateral		m ²			
Altura vehículo	4.5	m			
Cable			Poleas		
Diámetro	52.0	mm	Diámetro polea motriz	6.4	m
Peso lineal	9.86	daN/m	Peso polea motriz	4 000	daN
Resistencia a la rotura	179 100	daN	Peso polea de reenvío	3 500	daN
Elongación térmica	0.012	mm/m/°C	Peso poleas de línea	15	daN
Modulo de Young	10 000	daN/mm ²			
Sección metálica	1 120	mm ²			
Delta térmico	30	°			
			Otros		
			Ancho de vía	6.4	m
			Tiempo de trayecto	4 min 36 s	
			Tiempo consumido en	E1	90 s
			estaciones		
				E2	90 s
			Tiempo total de un ciclo		730.9 s
			Número de vehículos		81

2 NORMATIVA APLICADA

REFERENCIA	TÍTULO	Fecha publicación	Referencia de la norma retirada y sustituida
EN 1908:2015	Requisitos de seguridad de las instalaciones de transporte por cable destinadas a personas. Dispositivos de puesta en tensión.	diciembre-2015	EN 1908:2004
EN 12397:2017	Requisitos de seguridad de las instalaciones de transporte por cable destinadas a personas. Explotación	septiembre-2017	EN 12397:2004
EN 12927:2019	Requisitos de seguridad para instalaciones para el transporte de personas por cable. Cables	marzo-2020	EN 12927-1:2004 EN 12927-3:2004 EN 12927-4:2004 EN 12927-5:2004 EN 12927-8:2004
EN 12927-2:2004	Requisitos de seguridad de las instalaciones de transporte por cable destinadas a personas. Cables. Parte 2: Coeficientes de seguridad.	junio-2005	
EN 12929-1:2015	Requisitos de seguridad de las instalaciones de transporte por cable destinadas a personas. Requisitos generales. Parte 1: Requisitos aplicables a todas las instalaciones.	julio-2015	EN 12929-1:2004
EN 12930:2015	Requisitos de seguridad de las instalaciones de transporte por cable destinadas a personas. Cálculos.	octubre-2015	EN 12930:2004
EN 13223:2015	Requisitos de seguridad de las instalaciones de transporte por cable destinadas a personas. Sistemas de accionamiento y otros equipos mecánicos.	diciembre-2015	EN 13223:2004
EN 13243:2015	Requisitos de seguridad de las instalaciones de transporte por cable destinadas a personas. Dispositivos eléctricos distintos de los accionamientos.	octubre-2015	EN 13243:2004

3 TABLA DE ESTACIONES Y TORRES DE LÍNEA

Coordenadas de estaciones y torres								Coordenadas cable	
	X	Y	Altura pedestal hormigón (m)	H piona (a apoyo cable)	Inclinación recomendada (%)	Inclinación piona (%)	Inclinación piona (°)	X	Y
E1	77.95	2 614.60		10.95	0%		0.0	77.95	2 625.55
T1	84.28	2 612.99	1.9	11.10	7%	-30%	-16.7	87.46	2 625.53
T2	209.04	2 622.27	2.0	23.00	18%	10%	5.7	206.75	2 647.16
T3	334.88	2 636.68	2.0	32.00	15%	5%	2.9	333.28	2 670.64
T4	453.58	2 658.23	2.0	26.50	11%		0.0	453.58	2 686.73
T5	591.58	2 669.09	2.0	24.50	5%		0.0	591.58	2 695.59
T6	790.30	2 669.20	2.0	38.20	8%		0.0	790.30	2 709.40
T7	1 073.53	2 702.46	2.0	36.80	15%	5%	2.9	1 071.69	2 741.21
T8	1 235.68	2 740.82	2.0	22.50	11%	5%	2.9	1 234.56	2 765.30
T9A	1 352.70	2 740.33	18.5	15.10	5%	50%	26.6	1 345.95	2 772.34
T9B	1 352.70	2 740.33	18.5	15.20	-7%	-50%	-26.6	1 359.50	2 772.43
T10	1 580.20	2 731.11	2.0	26.00	-3%		0.0	1 580.20	2 759.11
T11	1 705.90	2 732.81	2.0	18.45	2%		0.0	1 705.90	2 753.26
E2.1	1 720.47	2 733.61		20.17	2%		0.0	1 720.47	2 753.77

4 NOTA DE CÁLCULO EL CARGAS REPARTIDAS

En primera aproximación, el cálculo se desarrolla considerando que el peso de los vehículos se distribuye de forma uniforme sobre el cable. Una vez realizada esta aproximación, se hace una aproximación parabólica de la catenaria, es decir que se asimila la geometría del cable a una parábola. Este cálculo permite hacer una primera distribución de las torres necesarias, así como de los equipos, a la vez que se comprueban los gálíbos.

Se han analizado los casos de carga siguientes, identificados según la ocupación de los vehículos. Por ejemplo, el caso 100%-0% corresponde a todo los vehículos cargados con el número máximo de ocupantes a la subida, y vacíos a la bajada.

4.2 0% - 0%

	Coordenadas cable					Lado subida							Lado bajada												
	X	Y	alpha vano (º)	I inclinad a vano	cos (alpha vano)	Tensión entrada	Tensión salida	flecha (m)	Ángulo entrada (º)	Ángulo salida (º)	Ángulo deflexión (º)	Carga sobre torre	Tensión entrada	Tensión salida	flecha (m)	Ángulo entrada (º)	Ángulo salida (º)	Ángulo deflexión (º)	Carga sobre torre						
E1	78.0	2 625.6	-0.1	9.5	1.0	35 105.0	35 111.1	0.0	0.0	-0.4	0.4	218.5	34 895.0	34 888.9	0.0	0.0	-0.4	0.4	218.0	Adherencia a régimen1.09					
T1	87.5	2 625.5	10.3	121.2	1.0	35 110.5	35 236.3	1.5	0.1	7.4	-7.3	-4 494.4	34 888.2	34 764.3	1.5	0.1	7.4	-7.3	-4 426.9						
T2	206.8	2 647.2	10.5	128.7	1.0	35 833.1	35 925.7	1.6	12.8	7.5	5.3	3 308.7	35 361.0	35 268.3	1.7	12.8	7.5	5.4	3 311.1	Incremento tensión lado subida en el arranque754.6					
T3	333.3	2 670.6	7.6	121.4	1.0	36 573.5	36 719.8	1.4	13.1	4.9	8.2	5 228.0	35 916.1	35 770.8	1.4	13.2	4.9	8.3	5 188.3	Reducción tensión lado bajada en el arranque-754.6					
T4	453.6	2 686.7	3.7	138.3	1.0	37 164.0	37 334.9	1.8	10.1	0.7	9.4	6 104.6	36 215.0	36 046.1	1.8	10.2	0.6	9.6	6 029.3						
T5	591.6	2 695.6	4.0	199.2	1.0	37 579.2	37 703.8	3.6	6.6	-0.2	6.8	4 448.4	36 290.5	36 165.6	3.8	6.7	-0.4	7.1	4 457.9	Adherencia en el arranque1.13					
T6	790.3	2 709.4	6.4	283.2	1.0	38 084.9	38 225.1	7.2	8.1	0.6	7.5	5 006.8	36 546.7	36 404.5	7.6	8.3	0.3	8.0	5 080.5						
T7	1 071.7	2 741.2	8.4	164.6	1.0	39 102.7	39 238.7	2.4	12.1	5.0	7.1	4 856.7	37 282.1	37 144.5	2.5	12.4	4.8	7.6	4 914.3						
T8	1 234.6	2 765.3	3.6	111.6	1.0	39 903.2	40 101.9	1.1	11.6	1.4	10.2	7 094.0	37 809.1	37 615.8	1.1	11.8	1.3	10.5	6 901.2	Esfuerzo tangencial3 339daN					
T9A	1 345.9	2 772.3	0.4	13.6	1.0	40 296.2	40 408.4	0.0	5.8	0.1	5.7	4 004.8	37 810.2	37 702.3	0.0	5.9	0.1	5.8	3 854.3	Diámetro polea motriz6.4m					
T9B	1 359.5	2 772.4	-3.5	221.1	1.0	40 410.8	40 576.8	4.2	0.6	-7.7	8.4	5 926.6	37 704.7	37 543.8	4.5	0.7	-8.1	8.8	5 745.7	Par necesario en el arranque10 601mdaN					
T10	1 580.2	2 759.1	-2.7	125.8	1.0	40 209.2	40 327.6	1.4	0.9	-5.1	6.0	4 228.5	37 176.3	37 056.9	1.5	1.2	-5.3	6.6	4 266.1						
T11	1 705.9	2 753.3	2.0	14.6	1.0	40 166.2	40 204.1	0.0	-0.2	1.7	-1.9	-1 352.4	36 895.5	36 865.1	0.0	0.0	1.7	-1.7	-1 083.4	Potencia a régimen200kW					
E2.1	1 720.5	2 753.8				40 218.3	40 263.9		2.3	0.0	2.3	1 625.6	36 879.4	36 837.2		2.3	0.0	2.3	1 505.6						
																				Masa en movimiento					
																				Peso del cable32 593daN					
																				Peso de los vehículos lado subida29 305daN					
																				Peso de los vehículos lado bajada29 305daN					
																				Peso poleas extremas7 500daN					
																				Peso poleas de líneadaN					
																				Esfuerzo tangencial adicional1 509daN					
																				Par necesario en el arranque:15 393mdaN					
																				Potencia en el arranque290.9kW					
																				Tensión mínima en la línea34 764daN					
																				Tensión máxima en la línea40 577daN					

4.3 0% - 100%

	Coordenadas cable					Lado subida							Lado bajada												
	X	Y	alpha vano (º)	I inclinad a vano	cos (alpha vano)	Tensión entrada	Tensión salida	flecha (m)	Ángulo entrada (º)	Ángulo salida (º)	Ángulo deflexión (º)	Carga sobre torre	Tensión entrada	Tensión salida	flecha (m)	Ángulo entrada (º)	Ángulo salida (º)	Ángulo deflexión (º)	Carga sobre torre						
E1	78.0	2 625.6	-0.1	9.5	1.0	35 105.0	35 111.1	0.0	0.0	-0.4	0.4	218.5	34 895.0	34 887.1	0.0	0.0	-0.5	0.5	282.8	Adherencia a régimen1.06					
T1	87.5	2 625.5	10.3	121.2	1.0	35 110.5	35 236.3	1.5	0.1	7.4	-7.3	-4 494.4	34 886.1	34 787.0	2.2	0.2	6.0	-5.8	-3 540.7						
T2	206.8	2 647.2	10.5	128.7	1.0	35 833.1	35 925.7	1.6	12.8	7.5	5.3	3 308.7	35 678.4	35 538.2	2.5	14.1	6.1	8.1	5 006.0	Incremento tensión lado subida en el arranque605.2					
T3	333.3	2 670.6	7.6	121.4	1.0	36 573.5	36 719.8	1.4	13.1	4.9	8.2	5 228.0	36 505.9	36 312.4	2.1	14.5	3.6	10.9	6 909.2	Reducción tensión lado bajada en el arranque-904.0					
T4	453.6	2 686.7	3.7	138.3	1.0	37 164.0	37 334.9	1.8	10.1	0.7	9.4	6 104.6	36 975.9	36 756.5	2.7	11.4	-0.8	12.2	7 835.3						
T5	591.6	2 695.6	4.0	199.2	1.0	37 579.2	37 703.8	3.6	6.6	-0.2	6.8	4 448.4	37 121.5	36 932.9	5.5	8.1	-2.4	10.4	6 733.7	Adherencia en el arranque1.10					
T6	790.3	2 709.4	6.4	283.2	1.0	38 084.9	38 225.1	7.2	8.1	0.6	7.5	5 006.8	37 502.2	37 270.5	11.0	10.2	-2.5	12.7	8 276.5						
T7	1 071.7	2 741.2	8.4	164.6	1.0	39 102.7	39 238.7	2.4	12.1	5.0	7.1	4 856.7	38 581.5	38 361.0	3.7	15.0	3.3	11.7	7 875.2						
T8	1 234.6	2 765.3	3.6	111.6	1.0	39 903.2	40 101.9	1.1	11.6	1.4	10.2	7 094.0	39 353.7	39 104.8	1.6	13.3	0.2	13.0	8 890.7	Esfuerzo tangencial2 122daN					
T9A	1 345.9	2 772.3	0.4	13.6	1.0	40 296.2	40 408.4	0.0	5.8	0.1	5.7	4 004.8	39 395.1	39 261.0	0.0	7.0	0.0	7.0	4 791.5	Diámetro polea motriz6.4m					
T9B	1 359.5	2 772.4	-3.5	221.1	1.0	40 410.8	40 576.8	4.2	0.6	-7.7	8.4	5 926.6	39 264.6	39 056.5	6.5	0.8	-10.1	10.9	7 433.3	Par necesario en el arranque6 736mdaN					
T10	1 580.2	2 759.1	-2.7	125.8	1.0	40 209.2	40 327.6	1.4	0.9	-5.1	6.0	4 228.5	38 507.5	38 323.0	2.1	3.3	-6.5	9.8	6 587.5						
T11	1 705.9	2 753.3	2.0	14.6	1.0	40 166.2	40 204.1	0.0	-0.2	1.7	-1.9	-1 352.4	38 081.9	38 075.6	0.0	1.2	1.6	-0.3	-226.9	Potencia a régimen127kW					
E2.1	1 720.5	2 753.8				40 218.3	40 263.9		2.3	0.0	2.3	1 625.6	38 096.8	38 050.7		2.5	0.0	2.5	1 647.9						
																				Masa en movimiento					
																				Peso del cable32 593daN					
																				Peso de los vehículos lado subida29 305daN					
																				Peso de los vehículos lado bajada29 305daN					
																				Peso poleas extremas7 500daN					
																				Peso poleas de líneadaN					
																				Esfuerzo tangencial adicional1 509daN					
																				Par necesario en el arranque:11 528mdaN					
																				Potencia en el arranque217.8kW					
																				Tensión mínima en la línea34 787daN					
																				Tensión máxima en la línea40 577daN					

4.4 100% - 100%

	Coordenadas cable					Lado subida							Lado bajada						
	X	Y	alpha vano (º)	I inclinad a vano	cos (alpha vano)	Tensión entrada	Tensión salida	flecha (m)	Ángulo entrada (º)	Ángulo salida (º)	Ángulo deflexión (º)	Carga sobre torre	Tensión entrada	Tensión salida	flecha (m)	Ángulo entrada (º)	Ángulo salida (º)	Ángulo deflexión (º)	Carga sobre torre
E1	78.0	2 625.6	-0.1	9.5	1.0	35 105.0	35 112.9	0.0	0.0	-0.5	0.5	283.3	34 895.0	34 887.1	0.0	0.0	-0.5	0.5	282.8
T1	87.5	2 625.5	10.3	121.2	1.0	35 112.0	35 212.9	2.2	0.2	6.1	-5.9	-3 605.5	34 886.1	34 787.0	2.2	0.2	6.0	-5.8	-3 540.7
T2	206.8	2 647.2	10.5	128.7	1.0	36 104.3	36 244.4	2.4	14.1	6.1	7.9	5 003.6	35 678.4	35 538.2	2.5	14.1	6.1	8.1	5 006.0
T3	333.3	2 670.6	7.6	121.4	1.0	37 212.1	37 406.8	2.0	14.4	3.7	10.7	6 954.5	36 505.9	36 312.4	2.1	14.5	3.6	10.9	6 909.2
T4	453.6	2 686.7	3.7	138.3	1.0	38 070.3	38 292.2	2.6	11.3	-0.6	11.9	7 923.8	36 975.9	36 756.5	2.7	11.4	-0.8	12.2	7 835.3
T5	591.6	2 695.6	4.0	199.2	1.0	38 657.1	38 845.3	5.2	7.9	-2.1	9.9	6 721.3	37 121.5	36 932.9	5.5	8.1	-2.4	10.4	6 733.7
T6	790.3	2 709.4	6.4	283.2	1.0	39 414.6	39 643.8	10.4	9.9	-2.0	11.9	8 184.1	37 502.2	37 270.5	11.0	10.2	-2.5	12.7	8 276.5
T7	1 071.7	2 741.2	8.4	164.6	1.0	40 954.8	41 173.4	3.4	14.5	3.6	10.9	7 809.9	38 581.5	38 361.0	3.7	15.0	3.3	11.7	7 875.2
T8	1 234.6	2 765.3	3.6	111.6	1.0	42 166.2	42 422.5	1.5	12.9	0.5	12.4	9 152.3	39 353.7	39 104.8	1.6	13.3	0.2	13.0	8 890.7
T9A	1 345.9	2 772.3	0.4	13.6	1.0	42 712.8	42 852.6	0.0	6.7	0.0	6.7	4 993.8	39 395.1	39 261.0	0.0	7.0	0.0	7.0	4 791.5
T9B	1 359.5	2 772.4	-3.5	221.1	1.0	42 856.3	43 071.1	5.9	0.8	-9.5	10.2	7 670.0	39 264.6	39 056.5	6.5	0.8	-10.1	10.9	7 433.3
T10	1 580.2	2 759.1	-2.7	125.8	1.0	42 522.0	42 705.3	1.9	2.7	-6.1	8.8	6 544.9	38 507.5	38 323.0	2.1	3.3	-6.5	9.8	6 587.5
T11	1 705.9	2 753.3	2.0	14.6	1.0	42 464.2	42 480.6	0.0	0.8	1.6	-0.8	-585.2	38 081.9	38 075.6	0.0	1.2	1.6	-0.3	-226.9
E2.1	1 720.5	2 753.8				42 501.8	42 552.4		2.4	0.0	2.4	1 805.9	38 096.8	38 050.7		2.5	0.0	2.5	1 647.9
															</				

4.5 CABLE DESNUDO – CABLE DESNUDO

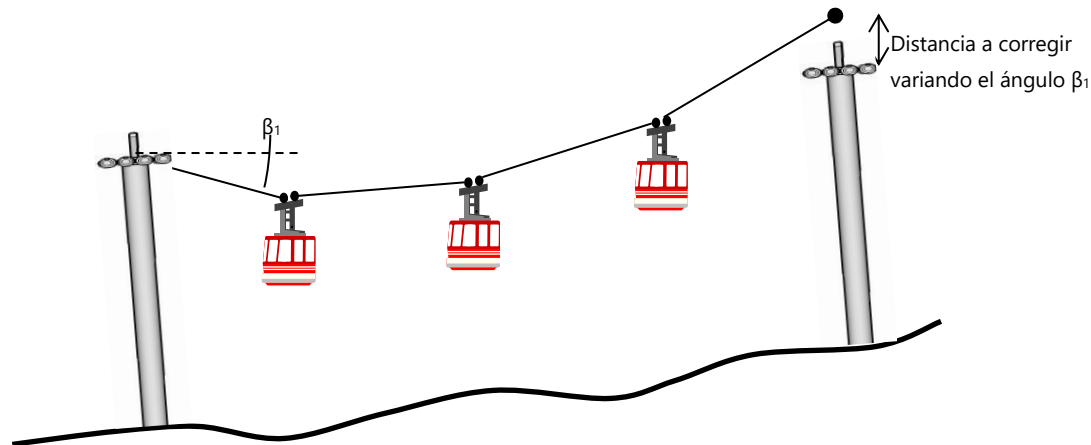
	Coordenadas cable					Lado subida							Lado bajada						
	X	Y	alpha vano (°)	I inclinad a vano	cos (alpha vano)	Tensión entrada	Tensión salida	flecha (m)	Ángulo entrada (°)	Ángulo salida (°)	Ángulo deflexión (°)	Carga sobre torre	Tensión entrada	Tensión salida	flecha (m)	Ángulo entrada (°)	Ángulo salida (°)	Ángulo deflexión (°)	Carga sobre torre
E1	78.0	2 625.6	-0.1	9.5	1.0	35 105.0	35 108.8	0.0	0.0	-0.2	0.2	134.1	34 895.0	34 891.3	0.0	0.0	-0.2	0.2	133.6
T1	87.5	2 625.5	10.3	121.2	1.0	35 108.5	35 266.8	0.5	-0.1	9.1	-9.2	-5 651.9	34 891.0	34 734.7	0.5	-0.1	9.1	-9.2	-5 582.4
T2	206.8	2 647.2	10.5	128.7	1.0	35 480.0	35 510.7	0.6	11.1	9.3	1.8	1 095.2	34 948.0	34 917.2	0.6	11.1	9.3	1.8	1 097.4
T3	333.3	2 670.6	7.6	121.4	1.0	35 742.2	35 825.4	0.5	11.4	6.6	4.8	2 972.5	35 148.7	35 066.4	0.5	11.4	6.6	4.8	2 939.6
T4	453.6	2 686.7	3.7	138.3	1.0	35 984.1	36 088.5	0.7	8.5	2.6	5.9	3 727.2	35 225.2	35 122.4	0.7	8.5	2.6	6.0	3 668.9
T5	591.6	2 695.6	4.0	199.2	1.0	36 175.8	36 217.1	1.4	4.7	2.4	2.3	1 472.8	35 209.7	35 168.3	1.4	4.8	2.4	2.4	1 478.4
T6	790.3	2 709.4	6.4	283.2	1.0	36 353.2	36 376.4	2.7	5.5	4.2	1.3	827.4	35 304.5	35 280.1	2.8	5.6	4.1	1.4	873.4
T7	1 071.7	2 741.2	8.4	164.6	1.0	36 690.0	36 717.5	0.9	8.6	7.1	1.5	981.6	35 593.7	35 565.2	1.0	8.7	7.0	1.6	1 018.7
T8	1 234.6	2 765.3	3.6	111.6	1.0	36 955.0	37 078.4	0.4	9.6	2.8	6.8	4 406.0	35 802.7	35 682.3	0.4	9.6	2.7	6.9	4 300.3
T9A	1 345.9	2 772.3	0.4	13.6	1.0	37 147.8	37 223.9	0.0	4.5	0.3	4.2	2 716.3	35 751.7	35 678.0	0.0	4.5	0.3	4.2	2 632.3
T9B	1 359.5	2 772.4	-3.5	221.1	1.0	37 224.8	37 326.8	1.6	0.5	-5.1	5.6	3 644.3	35 678.9	35 579.9	1.7	0.5	-5.2	5.7	3 537.1
T10	1 580.2	2 759.1	-2.7	125.8	1.0	37 195.5	37 229.1	0.5	-1.8	-3.6	1.8	1 200.1	35 448.5	35 414.2	0.6	-1.7	-3.7	2.0	1 224.1
T11	1 705.9	2 753.3	2.0	14.6	1.0	37 171.4	37 237.3	0.0	-1.7	1.9	-3.6	-2 352.6	35 356.6	35 295.0	0.0	-1.7	1.9	-3.6	-2 199.8
E2.1	1 720.5	2 753.8				37 242.4	37 281.3		2.1	0.0	2.1	1 390.8	35 300.1	35 263.1		2.1	0.0	2.1	1 320.6
Adherencia a régimen																			1.06
Incremento tensión lado subida en el arranque																			754.6
Reducción tensión lado bajada en el arranque																			-754.6
Adherencia en el arranque																			1.10
Esfuerzo tangencial																			1 942 daN
Diámetro polea motriz																			6.4 m
Par necesario en el arranque																			6 167 mdaN
Potencia a régimen																			117 kW
Masa en movimiento																			
Peso del cable																			32 593 daN
Peso de los vehículos lado subida																			29 305 daN
Peso de los vehículos lado bajada																			29 305 daN
Peso poleas extremas																			7 500 daN
Peso poleas de línea																			daN
Esfuerzo tangencial adicional																			1 509 daN
Par necesario en el arranque:																			10 959 mdaN
Potencia en el arranque																			207.1 kW
Tensión mínima en la línea																			34 735 daN
Tensión máxima en la línea																			37 327 daN

5 CÁLCULO EN CARGAS PUNTUALES

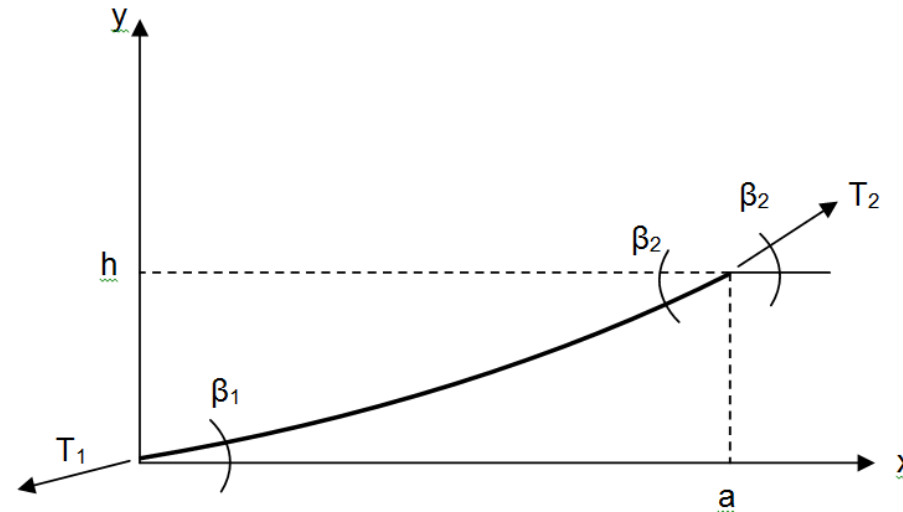
En una segunda fase, se retoma el cálculo de las catenarias del cable, considerando la carga puntual de cada vehículo, según la distancia entre éstos. El cálculo se desarrolla para cada posición de los vehículos (considerando un paso de avance generalmente igual a 2 metros).

Para cada posición de vehículo, el cálculo se realiza de la manera siguiente:

- ✓ Imposición del ángulo β_1
- ✓ Cálculo de la catenaria exacta hasta el primer vehículo
- ✓ Resolución de las ecuaciones de equilibrio del vehículo
- ✓ Cálculo de la catenaria exacta hasta el vehículo siguiente
- ✓
- ✓ Cálculo de la catenaria exacta hasta la pila siguiente y cálculo del error respecto a la cota de la pila
- ✓ iteración sobre el valor β_1 hasta que el punto obtenido por cálculo a nivel de la pila siguiente coincida con la cota de la pila:



Ecuaciones de la catenaria:



Conocidos: p , T_1 y β_1 .

Componente horizontal de la tensión: $H = T_1 \times \cos(\beta_1) = \text{cte sobre el vano}$

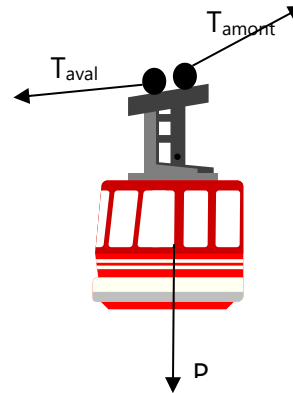
$$\beta_1 = a \tan(sh(q)) \rightarrow q = a sh(\tan(\beta_1))$$

$$\beta_2 = a \tan\left(sh\left(\frac{p \times a}{H} + q\right)\right)$$

Longitud de la catenaria: $S = \frac{H}{p} \times \text{abs}(\tan(\beta_1) - \tan(\beta_2))$

Coordenada y: $y = \frac{H}{p} \times \left[ch\left(\frac{p \times x}{H} + q\right) - ch(q) \right]$

Equilibrio en vehículos:

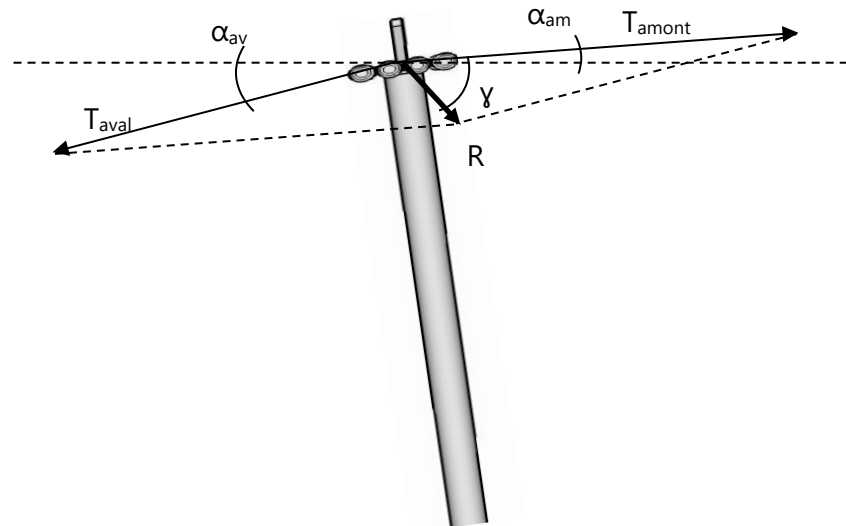


$$\overline{T_{aval}} + \overline{T_{arent}} + \overline{P} = 0$$

$$\tan(\alpha_{arent}) = \frac{P + T_{aval} \sin(\alpha_{aval})}{T_{aval} \cos(\alpha_{aval})}$$

$$T_{arent}^2 = (T_{aval} \cos(\alpha_{aval}))^2 + (T_{aval} \sin(\alpha_{aval}) + P)^2$$

Reacción en las torres:



$$T_{aval} + T_{amont} - R = 0$$

$$\text{proyección sobre el eje x: } -T_1 \cos(\alpha_{av}) + T_2 \cos(\alpha_{am}) - R \cos(\gamma) = 0$$

$$\text{proyección sobre el eje y: } T_1 \text{sen}(\alpha_{av}) + T_2 \text{sen}(\alpha_{am}) + R \text{sen}(\gamma) = 0$$

$$\tan(\gamma) = \frac{T_1 \text{sen}(\alpha_{av}) + T_2 \text{sen}(\alpha_{am})}{T_1 \cos(\alpha_{av}) - T_2 \cos(\alpha_{am})}$$

$$R^2 = T_1^2 + T_2^2 - 2 \times T_1 T_2 \cos(\alpha_{am} - \alpha_{av})$$

6 RESULTADOS EN CARGAS PUNTUALES

6.1 CASO 100% - 0%

Subida (tensión máx. y mín. en el cable; ángulo de entrada y salida y carga resultante sobre cada torre)

	Tant min (daN)	Tant max (daN)	Tpost min (daN)	Tpost max (daN)	Ángulo ant min (º)	Ángulo ant max (º)	Ángulo post min (º)	Ángulo post max (º)	Carga min (daN)	Carga max (daN)
E1	35 105	35 105	35 059	35 101	0.0	0.0	-2.7	-0.2	144	1 651
T1	35 020	35 101	35 139	35 222	-0.1	1.7	4.9	7.4	-4 323	-3 056
T2	35 954	36 342	36 095	36 484	13.1	15.5	5.1	7.5	4 840	5 047
T3	36 964	37 383	37 158	37 576	13.5	15.8	2.6	4.9	6 894	7 096
T4	37 770	38 236	37 995	38 457	10.4	12.6	-1.9	0.5	7 851	8 066
T5	38 289	38 838	38 476	39 027	6.9	9.1	-3.3	-1.0	6 650	6 844
T6	39 146	39 665	39 377	39 897	8.9	11.2	-3.0	-0.7	8 130	8 273
T7	40 671	41 322	40 889	41 539	13.5	15.6	2.6	4.8	7 750	7 814
T8	41 764	42 581	42 020	42 839	12.1	14.1	-0.5	1.6	9 144	9 225
T9A	42 181	43 155	42 338	43 296	5.6	7.6	-2.0	0.3	4 418	5 604
T9B	42 268	43 297	42 466	43 513	0.5	2.2	-10.6	-8.6	7 056	8 279
T10	42 003	42 924	42 187	43 106	1.6	3.7	-7.4	-5.3	6 493	6 652
T11	41 974	42 859	42 004	42 859	-0.1	1.9	0.1	1.9	-1 064	-8
E2.1	42 003	42 864	42 047	42 909	2.1	4.1	0.0	0.0	1 563	3 066

Bajada (tensión máx. y mín. en el cable; ángulo de entrada y salida y carga resultante sobre cada torre)

	Tant min (daN)	Tant max (daN)	Tpost min (daN)	Tpost max (daN)	Ángulo ant min (º)	Ángulo ant max (º)	Ángulo post min (º)	Ángulo post max (º)	Carga min (daN)	Carga max (daN)
E1	34 895	34 895	34 899	34 917	0.0	0.0	-1.3	-0.2	143	786
T1	34 895	34 906	34 761	34 787	-0.1	1.3	6.9	8.2	-4 915	-4 219
T2	35 299	35 504	35 206	35 412	12.3	13.6	6.8	8.3	3 204	3 334
T3	35 800	36 009	35 652	35 861	12.7	14.1	4.3	5.7	5 165	5 296
T4	36 067	36 280	35 895	36 112	9.6	10.9	-0.2	1.2	5 992	6 131
T5	36 133	36 397	36 010	36 270	6.1	7.5	-1.0	0.4	4 405	4 527
T6	36 430	36 668	36 288	36 525	7.6	9.0	-0.4	1.0	5 016	5 095
T7	37 163	37 419	37 027	37 282	11.8	13.1	4.3	5.6	4 848	4 884
T8	37 685	37 964	37 491	37 770	11.1	12.4	0.6	1.9	6 922	6 948
T9A	37 669	37 964	37 554	37 851	5.3	6.6	-0.9	0.3	3 557	4 147
T9B	37 562	37 851	37 408	37 696	0.5	1.8	-8.7	-7.4	5 457	6 054
T10	36 992	37 345	36 871	37 226	0.6	2.0	-6.1	-4.7	4 226	4 317
T11	36 667	37 071	36 638	37 037	-0.5	0.8	0.9	1.9	-1 433	-714
E2.1	36 643	37 072	36 605	37 015	2.2	3.1	0.0	0.0	1 380	2 029

6.2 CASO 0% - 0%

Subida (tensión máx. y mín. en el cable; ángulo de entrada y salida y carga resultante sobre cada torre)

	Tant min (daN)	Tant max (daN)	Tpost min (daN)	Tpost max (daN)	Ángulo ant min (º)	Ángulo ant max (º)	Ángulo post min (º)	Ángulo post max (º)	Carga min (daN)	Carga max (daN)
E1	35 105	35 105	35 077	35 101	0.0	0.0	-1.6	-0.2	144	1 005
T1	35 063	35 101	35 200	35 239	-0.1	0.9	6.8	8.2	-4 953	-4 237
T2	35 758	35 960	35 850	36 053	12.3	13.7	7.0	8.4	3 202	3 318
T3	36 435	36 654	36 581	36 801	12.7	14.0	4.3	5.7	5 210	5 325
T4	36 989	37 239	37 163	37 409	9.6	10.9	0.0	1.4	6 072	6 193
T5	37 381	37 665	37 504	37 789	6.0	7.3	-0.9	0.5	4 398	4 507
T6	37 932	38 204	38 072	38 345	7.5	8.8	0.0	1.3	4 941	5 022
T7	38 956	39 262	39 091	39 396	11.5	12.8	4.5	5.7	4 786	4 819
T8	39 735	40 079	39 934	40 279	11.1	12.3	0.8	2.1	7 108	7 149
T9A	40 068	40 483	40 190	40 596	5.2	6.3	-1.1	0.3	3 676	4 354
T9B	40 158	40 597	40 315	40 763	0.5	1.5	-8.4	-7.2	5 581	6 271
T10	39 984	40 382	40 102	40 499	0.2	1.5	-5.9	-4.6	4 190	4 281
T11	39 940	40 327	39 974	40 356	-0.8	0.5	0.8	1.9	-1 637	-1 030
E2.1	39 979	40 380	40 021	40 446	2.1	3.3	0.0	0.0	1 494	2 342

Bajada (tensión máx. y mín. en el cable; ángulo de entrada y salida y carga resultante sobre cada torre)

	Tant min (daN)	Tant max (daN)	Tpost min (daN)	Tpost max (daN)	Ángulo ant min (º)	Ángulo ant max (º)	Ángulo post min (º)	Ángulo post max (º)	Carga min (daN)	Carga max (daN)
E1	34 895	34 895	34 899	34 917	0.0	0.0	-1.3	-0.2	143	786
T1	34 895	34 906	34 761	34 787	-0.1	1.3	6.9	8.2	-4 915	-4 219
T2	35 299	35 504	35 206	35 412	12.3	13.6	6.8	8.3	3 204	3 334
T3	35 800	36 009	35 652	35 861	12.7	14.1	4.3	5.7	5 165	5 296
T4	36 067	36 280	35 895	36 112	9.6	10.9	-0.2	1.2	5 992	6 131
T5	36 133	36 397	36 010	36 270	6.1	7.5	-1.0	0.4	4 405	4 527
T6	36 430	36 668	36 288	36 525	7.6	9.0	-0.4	1.0	5 016	5 095
T7	37 163	37 419	37 027	37 282	11.8	13.1	4.3	5.6	4 848	4 884
T8	37 685	37 964	37 491	37 770	11.1	12.4	0.6	1.9	6 922	6 948
T9A	37 669	37 964	37 554	37 851	5.3	6.6	-0.9	0.3	3 557	4 147
T9B	37 562	37 851	37 408	37 696	0.5	1.8	-8.7	-7.4	5 457	6 054
T10	36 992	37 345	36 871	37 226	0.6	2.0	-6.1	-4.7	4 226	4 317
T11	36 667	37 071	36 638	37 037	-0.5	0.8	0.9	1.9	-1 433	-714
E2.1	36 643	37 072	36 605	37 015	2.2	3.1	0.0	0.0	1 380	2 029

6.3 CASO 0% - 100%

Subida (tensión máx. y mín. en el cable; ángulo de entrada y salida y carga resultante sobre cada torre)

	Tant min (daN)	Tant max (daN)	Tpost min (daN)	Tpost max (daN)	Ángulo ant min (°)	Ángulo ant max (°)	Ángulo post min (°)	Ángulo post max (°)	Carga min (daN)	Carga max (daN)
E1	35 105	35 105	35 077	35 101	0.0	0.0	-1.6	-0.2	144	1 005
T1	35 063	35 101	35 200	35 239	-0.1	0.9	6.8	8.2	-4 953	-4 237
T2	35 758	35 960	35 850	36 053	12.3	13.7	7.0	8.4	3 202	3 318
T3	36 435	36 654	36 581	36 801	12.7	14.0	4.3	5.7	5 210	5 325
T4	36 989	37 239	37 163	37 409	9.6	10.9	0.0	1.4	6 072	6 193
T5	37 381	37 665	37 504	37 789	6.0	7.3	-0.9	0.5	4 398	4 507
T6	37 932	38 204	38 072	38 345	7.5	8.8	0.0	1.3	4 941	5 022
T7	38 956	39 262	39 091	39 396	11.5	12.8	4.5	5.7	4 786	4 819
T8	39 735	40 079	39 934	40 279	11.1	12.3	0.8	2.1	7 108	7 149
T9A	40 068	40 483	40 190	40 596	5.2	6.3	-1.1	0.3	3 676	4 354
T9B	40 158	40 597	40 315	40 763	0.5	1.5	-8.4	-7.2	5 581	6 271
T10	39 984	40 382	40 102	40 499	0.2	1.5	-5.9	-4.6	4 190	4 281
T11	39 940	40 327	39 974	40 356	-0.8	0.5	0.8	1.9	-1 637	-1 030
E2.1	39 979	40 380	40 021	40 446	2.1	3.3	0.0	0.0	1 494	2 342

Bajada (tensión máx. y mín. en el cable; ángulo de entrada y salida y carga resultante sobre cada torre)

	Tant min (daN)	Tant max (daN)	Tpost min (daN)	Tpost max (daN)	Ángulo ant min (º)	Ángulo ant max (º)	Ángulo post min (º)	Ángulo post max (º)	Carga min (daN)	Carga max (daN)
E1	34 895	34 895	34 899	34 931	0.0	0.0	-2.1	-0.2	143	1 286
T1	34 886	34 925	34 778	34 837	-0.1	2.3	5.0	7.4	-4 312	-3 079
T2	35 543	35 930	35 400	35 790	13.0	15.3	4.8	7.3	4 846	5 078
T3	36 288	36 687	36 092	36 489	13.6	16.0	2.5	4.9	6 835	7 071
T4	36 694	37 122	36 470	36 904	10.3	12.6	-2.2	0.3	7 749	8 002
T5	36 791	37 334	36 604	37 141	7.1	9.5	-3.5	-1.1	6 660	6 878
T6	37 254	37 725	37 021	37 491	9.1	11.4	-3.8	-1.4	8 229	8 376
T7	38 343	38 851	38 123	38 632	14.1	16.3	2.3	4.6	7 830	7 893
T8	39 061	39 666	38 812	39 415	12.2	14.3	-1.0	1.3	8 896	8 953
T9A	39 020	39 727	38 873	39 586	5.9	8.1	-1.8	0.3	4 273	5 315
T9B	38 876	39 587	38 679	39 384	0.5	2.7	-11.2	-9.0	6 919	7 984
T10	38 099	38 872	37 911	38 688	2.3	4.6	-7.8	-5.5	6 536	6 698
T11	37 583	38 450	37 580	38 438	0.3	2.6	0.2	1.9	-828	446
E2.1	37 585	38 500	37 545	38 429	2.1	3.8	0.0	0.0	1 412	2 564

6.4 CASO 100% - 100%

Subida (tensión máx. y mín. en el cable; ángulo de entrada y salida y carga resultante sobre cada torre)

	Tant min (daN)	Tant max (daN)	Tpost min (daN)	Tpost max (daN)	Ángulo ant min (º)	Ángulo ant max (º)	Ángulo post min (º)	Ángulo post max (º)	Carga min (daN)	Carga max (daN)
E1	35 105	35 105	35 059	35 101	0.0	0.0	-2.7	-0.2	144	1 651
T1	35 020	35 101	35 139	35 222	-0.1	1.7	4.9	7.4	-4 323	-3 056
T2	35 954	36 342	36 095	36 484	13.1	15.5	5.1	7.5	4 840	5 047
T3	36 964	37 383	37 158	37 576	13.5	15.8	2.6	4.9	6 894	7 096
T4	37 770	38 236	37 995	38 457	10.4	12.6	-1.9	0.5	7 851	8 066
T5	38 289	38 838	38 476	39 027	6.9	9.1	-3.3	-1.0	6 650	6 844
T6	39 146	39 665	39 377	39 897	8.9	11.2	-3.0	-0.7	8 130	8 273
T7	40 671	41 322	40 889	41 539	13.5	15.6	2.6	4.8	7 750	7 814
T8	41 764	42 581	42 020	42 839	12.1	14.1	-0.5	1.6	9 144	9 225
T9A	42 181	43 155	42 338	43 296	5.6	7.6	-2.0	0.3	4 418	5 604
T9B	42 268	43 297	42 466	43 513	0.5	2.2	-10.6	-8.6	7 056	8 279
T10	42 003	42 924	42 187	43 106	1.6	3.7	-7.4	-5.3	6 493	6 652
T11	41 974	42 859	42 004	42 859	-0.1	1.9	0.1	1.9	-1 064	-8
E2.1	42 003	42 864	42 047	42 909	2.1	4.1	0.0	0.0	1 563	3 066

Bajada (tensión máx. y mín. en el cable; ángulo de entrada y salida y carga resultante sobre cada torre)

	Tant min (daN)	Tant max (daN)	Tpost min (daN)	Tpost max (daN)	Ángulo ant min (º)	Ángulo ant max (º)	Ángulo post min (º)	Ángulo post max (º)	Carga min (daN)	Carga max (daN)
E1	34 895	34 895	34 899	34 931	0.0	0.0	-2.1	-0.2	143	1 286
T1	34 886	34 925	34 778	34 837	-0.1	2.3	5.0	7.4	-4 312	-3 079
T2	35 543	35 930	35 400	35 790	13.0	15.3	4.8	7.3	4 846	5 078
T3	36 288	36 687	36 092	36 489	13.6	16.0	2.5	4.9	6 835	7 071
T4	36 694	37 122	36 470	36 904	10.3	12.6	-2.2	0.3	7 749	8 002
T5	36 791	37 334	36 604	37 141	7.1	9.5	-3.5	-1.1	6 660	6 878
T6	37 254	37 725	37 021	37 491	9.1	11.4	-3.8	-1.4	8 229	8 376
T7	38 343	38 851	38 123	38 632	14.1	16.3	2.3	4.6	7 830	7 893
T8	39 061	39 666	38 812	39 415	12.2	14.3	-1.0	1.3	8 896	8 953
T9A	39 020	39 727	38 873	39 586	5.9	8.1	-1.8	0.3	4 273	5 315
T9B	38 876	39 587	38 679	39 384	0.5	2.7	-11.2	-9.0	6 919	7 984
T10	38 099	38 872	37 911	38 688	2.3	4.6	-7.8	-5.5	6 536	6 698
T11	37 583	38 450	37 580	38 438	0.3	2.6	0.2	1.9	-828	446
E2.1	37 585	38 500	37 545	38 429	2.1	3.8	0.0	0.0	1 412	2 564

6.5 RESUMEN DE CARGAS

Torre	Alt apoyo	0% - 0%				100% - 0%				100% - 100%				0% - 100%				Cable nu	
		Subida min	Subida max	Bajada min	Bajada max	Subida min	Subida max	Bajada min	Bajada max	Subida min	Subida max	Bajada min	Bajada max	Subida min	Subida max	Bajada min	Bajada max	Subida	Bajada
E1	10.95	144	1 005	143	786	144	1 651	143	786	144	1 651	143	1 286	144	1 005	143	1 286	144	143
T1	11.10	-4 953	-4 237	-4 915	-4 219	-4 323	-3 056	-4 915	-4 219	-4 323	-3 056	-4 312	-3 079	-4 953	-4 237	-4 312	-3 079	-5 771	-5 702
T2	23.00	3 202	3 318	3 204	3 334	4 840	5 047	3 204	3 334	4 840	5 047	4 846	5 078	3 202	3 318	4 846	5 078	1 067	1 070
T3	32.00	5 210	5 325	5 165	5 296	6 894	7 096	5 165	5 296	6 894	7 096	6 835	7 071	5 210	5 325	6 835	7 071	3 024	2 988
T4	26.50	6 072	6 193	5 992	6 131	7 851	8 066	5 992	6 131	7 851	8 066	7 749	8 002	6 072	6 193	7 749	8 002	3 756	3 698
T5	24.50	4 398	4 507	4 405	4 527	6 650	6 844	4 405	4 527	6 650	6 844	6 660	6 878	4 398	4 507	6 660	6 878	1 469	1 475
T6	38.20	4 941	5 022	5 016	5 095	8 130	8 273	5 016	5 095	8 130	8 273	8 229	8 376	4 941	5 022	8 229	8 376	797	843
T7	36.80	4 786	4 819	4 848	4 884	7 750	7 814	4 848	4 884	7 750	7 814	7 830	7 893	4 786	4 819	7 830	7 893	936	974
T8	22.50	7 108	7 149	6 922	6 948	9 144	9 225	6 922	6 948	9 144	9 225	8 896	8 953	7 108	7 149	8 896	8 953	4 449	4 340
T9A	15.10	3 676	4 354	3 557	4 147	4 418	5 604	3 557	4 147	4 418	5 604	4 273	5 315	3 676	4 354	4 273	5 315	2 707	2 642
T9B	15.20	5 581	6 271	5 457	6 054	7 056	8 279	5 457	6 054	7 056	8 279	6 919	7 984	5 581	6 271	6 919	7 984	3 718	3 482
T10	26.00	4 190	4 281	4 226	4 317	6 493	6 652	4 226	4 317	6 493	6 652	6 536	6 698	4 190	4 281	6 536	6 698	1 183	1 231
T11	18.45	-1 637	-1 030	-1 433	-714	-1 064	-8	-1 433	-714	-1 064	-8	-828	446	-1 637	-1 030	-828	446	-2 440	-2 130
E2.1	20.17	1 494	2 342	1 380	2 029	1 563	3 066	1 380	2 029	1 563	3 066	1 412	2 564	1 494	2 342	1 412	2 564	1 433	1 288
L cable subida				1 654.1				1 655.5				1 655.5				1 654.1			1 653.0
L cable bajada				1 654.2				1 654.2				1 655.8				1 655.8			1 653.0
Carrera caso CD/CD				1.16				1.86				2.68				1.98			
Diferencia por tension				-0.02				-0.32				-0.38				-0.27			
Dilatación térmica				0.60				0.60				0.60				0.60			
Márgen delantero/posterior				2.00				2.00				2.00				2.00			
Carrera total				3.73				4.14				4.90				4.31			

Determinación de los equipos (balancines) sobre cada torre y carga resultante por polea

Torre	Alt apoyo	Equipo subida				Equipo bajada				Carga subida soporte	Carga subida compresión	Carga bajada soporte	Carga bajada compresión
E1	10.95	4	S			4	S			413		321	
T1	11.10			12	C			12	C		-481		-475
T2	23.00	8	S			8	S			631		635	
T3	32.00	10	S			10	S			710		707	
T4	26.50	12	S			12	S			672		667	
T5	24.50	10	S			10	S			684		688	
T6	38.20	12	S			12	S			689		698	
T7	36.80	12	S			12	S			651		658	
T8	22.50	12	S			12	S			769		746	
T9A	15.10	10	S			10	S			560		531	
T9B	15.20	12	S			12	S			690		665	
T10	26.00	10	S			10	S			665		670	
T11	18.45	8	S	8	C	8	S	8	C	0	-305	56	-266
E2.1	20.17	4	S			4	S			766		641	

Se comprueba que la carga resultante por polea es compatible con el tipo de equipos previstos.