

## ***7. - ANEJOS***

## **ANEJOS**

En este apartado se adjuntan los datos numéricos correspondientes a las gráficas obtenidas y mostradas a lo largo de esta tesina, así como la justificación matemática de algunas de las expresiones empleadas:

### Gráfica 3 y 4 (pág. 51):

Recomendación sobre la velocidad del ferrocarril frente al transporte por carretera.

$d_c$  distancia por carretera

$d_f$  distancia por ferrocarril

$V_c$  velocidad comercial por carretera

$V_f$  velocidad comercial por ferrocarril

$t_c$  tiempo invertido en la carretera

$t_f$  tiempo invertido en el ferrocarril

$$t_c = d_c / V_c \quad t_f = 2/3 \cdot t_c \quad V_f = d_f / t_f \quad V_f = (1+\alpha) \cdot d_c / (2/3 \cdot t_c) = 3 \cdot (1+\alpha) \cdot d_c / (2 \cdot t_c)$$

$$V_{fmax} = V_f / K$$

$$V_{fmax} = 3 \cdot (1+\alpha) \cdot V_c / (2 \cdot K)$$

### Gráfica 6 y 7 (pág. 56):

Relación entre tiempos y distancias para distintas velocidades, de modo que se alcance una oferta competitiva con la del avión.

$d$  distancia correspondiente a una relación por ferrocarril.

$V$  velocidad “máxima” del ferrocarril.

$t$  tiempo a invertir en el trayecto

$$d = V \cdot K \cdot t$$

Velocidad ferrocarril (km/h)	Tiempo empleado por el ferrocarril (h)	Distancia alcanzada con esta velocidad y tiempo (km)
280 (K=0'80)	2	448
	2,5	560
	3	672
300 (K=0'80)	2	480
	2,5	600
	3	720
330 (k=0'88)	2	580,8
	2,5	726
	3	871,2
350 (k=0'88)	2	616
	2,5	770
	3	924

Gráfica 8 (pág. 61):

Tiempo en ferrocarril (horas)	Valor del tiempo (h') (euros/hora)	LN del valor del tiempo (h')	Dist.normal h* ( $\sigma = 0,79, \mu = \ln 15'03$ )	Ahorro de tiempo	Incremento de cuota (en tanto por 1)	Velocidad del ferrocarril (km/h)
3,80	23,37	8,27	0,7120	---	---	160,00
3,70	24,75	8,32	0,7362	0,10	0,02	164,31
3,60	26,29	8,38	0,7606	0,20	0,05	168,86
3,50	28,05	8,45	0,7853	0,30	0,07	173,67
3,40	30,05	8,52	0,8099	0,40	0,10	178,76
3,30	32,36	8,59	0,8343	0,50	0,12	184,16
3,20	35,06	8,67	0,8583	0,60	0,15	189,90
3,10	38,25	8,76	0,8815	0,70	0,17	196,00
3,00	42,07	8,85	0,9038	0,80	0,19	202,51
2,90	46,75	8,96	0,9246	0,90	0,21	209,47
2,80	52,59	9,08	0,9436	1,00	0,23	216,92
2,70	60,10	9,21	0,9604	1,10	0,25	224,92
2,60	70,12	9,36	0,9744	1,20	0,26	233,54
2,58	72,54	9,40	0,9769	1,22	0,26	235,34
2,56	75,13	9,43	0,9792	1,24	0,27	237,17
2,54	77,91	9,47	0,9814	1,26	0,27	239,03
2,52	80,91	9,51	0,9835	1,28	0,27	240,92
2,50	84,14	9,55	0,9854	1,30	0,27	242,84
2,48	87,65	9,59	0,9872	1,32	0,28	244,79
2,46	91,46	9,63	0,9889	1,34	0,28	246,77
2,44	95,62	9,67	0,9904	1,36	0,28	248,78
2,42	100,17	9,72	0,9918	1,38	0,28	250,83
2,40	105,18	9,77	0,9931	1,40	0,28	252,91
2,38	110,71	9,82	0,9943	1,42	0,28	255,02
2,36	116,86	9,88	0,9953	1,44	0,28	257,18
2,34	123,74	9,93	0,9962	1,46	0,28	259,36
2,32	131,47	9,99	0,9970	1,48	0,28	261,59
2,30	140,24	10,06	0,9977	1,50	0,29	263,85

Obtención de la expresión de la velocidad correspondiente al ferrocarril para alcanzar un cierto ahorro de tiempo:

- 1) La distancia a recorrer (S) es la misma, variando la velocidad comercial ( $V_C$ ) y el tiempo empleado (t).

$$S = V_{C0} \cdot t_0$$

$$S = V_{Ci} \cdot t_i$$

- 2) El ahorro de tiempo será:

$$\Delta T_i = t_0 - t_i = S \cdot (1/V_{C0} - 1/V_{Ci})$$

- 3) Considerando una relación entre la velocidad comercial y la velocidad “máxima” definida por el parámetro  $K$  ( $V_C = k \cdot V$ ), se llega a la expresión:

$$\Delta T_i = S/K \cdot (1/V_0 - 1/V_i)$$

4) Y de aquí se obtiene:

$$V_i = V_0 \cdot S / (S - V_0 \cdot \Delta T_i \cdot K)$$

Gráfica 9 (pág. 64):

Velocidad	Ahorro de tiempo	Coste generalizado (euros/hora)	Variación del tráfico (en tanto por 1)
160	---	107,74	---
170	0,22	106,70	0,02
180	0,42	105,78	0,04
190	0,60	104,95	0,05
200	0,76	104,21	0,07
210	0,91	103,54	0,08
220	1,04	102,93	0,10
230	1,16	102,37	0,11
240	1,27	101,86	0,12
250	1,37	101,39	0,13
260	1,47	100,95	0,14
270	1,55	100,55	0,15
280	1,63	100,18	0,16
290	1,71	99,83	0,16
300	1,78	99,51	0,17
310	1,84	99,20	0,18
320	1,91	98,92	0,19
330	1,96	98,65	0,19
340	2,02	98,40	0,20
350	2,07	98,16	0,20

La expresión para el ahorro del tiempo es la explicada en la *gráfica 1* [ $\Delta T_i = S/K \cdot (1/V_0 - 1/V_i)$ ].

Fórmula 23 (pág. 65):

Expresión general para el cálculo de la potencia (análisis dimensional):

Kilowatios (KW); Newtons (N); decaNewton (10N=daN); metros (m); kilómetro (km); segundo (s); horas (h).

$$1KW = 1000 W = 1000 N \cdot m / s = 100 daN \cdot m / s = 0'1 daN \cdot km / s = 360 daN \cdot km / h$$

$$1KW = 360 daN \cdot km / h$$

$$P(KW) = R(daN) \cdot V(km/h) / 360$$

Datos relativos a la gráfica 10 (pág. 66):

- 1) TGV-A (1987) formado por M + 10R + M, capacidad para 505 plazas, 4 bogies motor [8].

Velocidad (km/h)	0	100	150	200	250	300
R (daN)	290	1300	2270	3560	5150	7060

- 2) Tren ICE

Los ensayos llevados a cabo por la DB (ICE V) en los cuales se analizaron distintas configuraciones no articuladas, condujeron a la siguiente formulación para la resistencia al avance en tracción a altura constante y alineación recta [35]:

$$R = 11'4 \cdot m + (0'025 \cdot m + 13'8) \cdot V + (0'19 + 0'045 \cdot n) \cdot T_f \cdot V^2$$

R (N); m(t) masa total; v(km/h); n número de remolques  
 En condiciones atmosféricas estándar (p=1013'2 hPa, T=15°C)

$T_f$  es un “factor de túnel” que depende de la longitud de éste, de su sección y de la longitud del tren. Al aire libre  $T_f$  vale 1.

Para un túnel de longitud 5'513 km y de sección media 85'5 m<sup>2</sup> se obtuvieron los siguientes valores:

$$M + R + M \quad T_f = 1'49$$

$$M + 2R + M \quad T_f = 1'44$$

$$M + 3R + M \quad T_f = 1'35$$

Aplicando esta formulación al modelo no articulado ICE 1 (año 1999), en configuración M + 12R + M; con 860 t; 358 m de longitud, 627 plazas y velocidad máxima de 280 km/h, se tendría una resistencia al avance igual a  $R(\text{daN}) = 980'4 + 3'53 \cdot V + 0'0073 \cdot V^2$ .

- 3) Previsión hecha por la SNCF en la década de los años 70 para la potencia media necesaria para vencer la resistencia al aire en una rama ferroviaria de 300 plazas [5]:

Velocidad máxima (km/h)	200	300	400	500
Potencia propulsión (kw)	1600	5500	12000	23000

Gráfica 11 y 12 (pág. 70 y pág 71):

Aproximación teórica a la evolución de los costes de mantenimiento de la geometría y de la vía con la velocidad. Los valores indicados en negrita corresponden al empleo de la fórmula de Eisenmann para la obtención de las cargas dinámicas, mientras que en el resto se ha empleado la de Prud'Homme.

Velocidad (km/h)	Carga dinámica (t/rueda)	Variación de coste de vía (c/c <sub>0</sub> )	Variación de coste de geometría (C/C <sub>0</sub> )
160	<b>9,55</b>	1,00	1,00
170	<b>9,65</b>	1,03	1,03
180	<b>9,71</b>	1,05	1,05
190	<b>9,77</b>	1,06	1,07
200	<b>9,83</b>	1,08	1,09
201	12,05	1,86	2,01
210	12,17	1,91	2,07
220	12,30	1,97	2,14
230	12,44	2,02	2,21
240	12,58	2,08	2,29
250	12,72	2,15	2,36
260	12,86	2,21	2,44
270	13,00	2,28	2,52
280	13,14	2,34	2,61
290	13,29	2,41	2,69
300	13,43	2,48	2,78
310	13,58	2,56	2,88
320	13,72	2,63	2,97
330	13,87	2,71	3,07
340	14,02	2,79	3,17
350	14,17	2,86	3,27
360	14,32	2,95	3,37

Gráfica 13 y 14 (pág. 75 y pág76):

Aproximación teórica a la evolución de los costes de inversión en infraestructura ( $\Delta C / C_0$ )

Velocidad viajeros (km/h)	Vel. Mercancías (red mixta)			Servicio exclusivo de viajeros
	110 km/h	100 km/h	90 km/h	
160	0,00	0,00	0,00	0,00
170	0,24	0,21	0,19	0,13
180	0,50	0,44	0,39	0,27
190	0,78	0,67	0,60	0,41
200	1,07	0,92	0,82	0,56
210	1,37	1,19	1,06	0,72
220	1,69	1,46	1,30	0,89
230	2,02	1,75	1,56	1,07
240	2,37	2,05	1,83	1,25
250	2,73	2,37	2,11	1,44
260	3,11	2,69	2,40	1,64
270	3,50	3,03	2,70	1,85
280	3,91	3,38	3,02	2,06
290	4,33	3,75	3,34	2,29
300	4,77	4,13	3,68	2,52
310	---	---	---	2,75
320	---	---	---	3,00
330	---	---	---	3,25
340	---	---	---	3,52
350	---	---	---	3,79
360	---	---	---	4,06

Figura 21 (pág. 90):

Figura correspondiente al texto original

