

OBSERVACIONES AL CUADRO ANTERIOR

- (1) La longitud está tomada sólo en kilómetros completos.
- (2) La pendiente característica se ha calculado de los perfiles de las Compañías. En los ferrocarriles aún no construidos y sin proyecto, se han tomado las pendientes, aproximadamente, en relación con el terreno del trazado.
- (3) Idem.
- (4) Para encontrar el tráfico anual en cada línea se han utilizado las Memorias de las Compañías y los numerosos datos que obran en el C. S. de F. C. El tráfico total supuesto es el de electrificación, para cada línea, algo superior al real actual. Las Memorias de las Compañías no suelen dar datos suficientes, línea por línea, para calcular el tráfico. Así, M. Z. A. sólo da el número de kilómetros-tren para el conjunto de la red Catalana, y suponiendo una composición media de los trenes de 400 toneladas brutas total para la electrificación, se han obtenido los tráficos que figuran en el cuadro, a la vista, además, de las condiciones de cada línea. Y del mismo modo se ha procedido para otras Compañías.
- (5) Hemos empleado las fórmulas correspondientes del consumo de energía, suponiendo que las locomotoras llevan recuperación de energía solamente para pendientes características mayores de 15.
- (6) El cálculo de la potencia necesaria se ha hecho bajo la base de que el factor de carga de las centrales generadoras era igual a 0,40. (Véase el artículo siguiente.)
- (7) El cálculo de las economías brutas se ha hecho tomando siempre la tensión de 1 500 voltios, con recuperación sólo a partir de pendientes características mayores de 1 500, y utilizando las fórmulas [25] a [12], o los gráficos correspondientes.
- (8) IMPORTANTE.—Las fórmulas obtenidas para encontrar el coste kilométrico lo han sido generalizando extraordinariamente los resultados y tomando precios unitarios para el material, que sin duda sólo pueden considerarse como aproximadas. Además, hemos supuesto un tráfico determinado en la línea, tráfico que influye directamente en el coste kilométrico de electrificación. Por todo ello, y principalmente porque cada Compañía, al efectuar el proyecto de electrificación, sólo tiene en cuenta sus necesidades, como es lógico, y fija un número de locomotoras tal que no coincidirá con el número de kilogramos de locomotora necesarios para el tráfico supuesto según nuestros cálculos; por todo esto, repetimos, el coste de electrificación es siempre mayor en los proyectos particulares de cada Compañía que el resultante del método general establecido en este trabajo, cuestión que para nada altera el valor de nuestros cálculos. Así: cuando una Compañía fija un número de locomotoras eléctricas mayor que el resultante según el tráfico y según nuestras fórmulas, hasta solamente añadir el coste de ese número de locomotoras, que es como hemos procedido en el apartado siguiente.
- (8') Es consecuencia de lo anterior, que en todas las líneas marcadas con (8'), el coste total de electrificación es sensiblemente mayor al obtenido por nuestras fórmulas. Los valores puestos para cada línea los hemos encontrado suponiendo las nuevas carac-

terísticas de electrificación de cada Compañía, en aquellas líneas que hasta ahora han estudiado, especialmente para el número de locomotoras impuesto por las Compañías. Por tanto, allí donde no coinciden los valores de los costes kilométricos de las fórmulas con los que figuran en este cuadro, es por haber supuesto un mayor número de locomotoras que las exigidas por el tráfico y dadas por nuestras fórmulas. Para mayor claridad, damos las dos cifras, una teniendo en cuenta los proyectos de las Compañías Norte y M. Z. A., y otra según nuestras fórmulas, aplicada rigurosamente, o sea: 663 304 301.

(9) Unas veces hemos calculado a base de las fórmulas y otras de acuerdo con lo expuesto en los apartados (8) y (8').

(10) El coste total de electrificación, tanto el total general como el particular para cada Compañía, ha de variar forzosamente—creemos necesario repetirlo—con los programas de electrificación de cada Compañía. Así, el Norte y M. Z. A. tienen efectuados sus programas de electrificación, donde se incluyen muchas partidas, que nosotros no teníamos por qué tomar en cuenta: talleres especiales, desviación de líneas, mayor número de locomotoras, automotores, servicios diversos, etc. Basta hojear el último presupuesto de electrificación de Barcelona a Manresa y San Juan de las Abadesas, que importa 41 000 000 de pesetas, distribuido en las partidas siguientes,

	Pesetas
Capítulo I.—Línea aérea de contacto.....	11 916 803,80
II.—Subestaciones convertidoras.....	4 772 470,00
III.—Locomotoras eléctricas.....	8 833 000,00
IV.—Coches automotores y remolques.....	11 018 462,00
V.—Obras accesorias.....	1 300 000,00
VI.—Mejoras e imprevistos.....	3 159 264,20
TOTAL.....	41 000 000,00

donde se ve que los capítulos IV, V y VI no son comprendidos en nuestro estudio, y, por tanto, su coste, razón que explica la diferencia en los resultados obtenidos por nuestras fórmulas.

En resumen, el coste total encontrado de 663 304 301 pesetas para la electrificación de los 4 314 kilómetros, o sea 154 000 pesetas por kilómetro, podrá variar si se compara sumando a sumando con los proyectos de electrificación de cada Compañía, en virtud de necesidades y características propias de cada explotación; pero en conjunto, y como queda demostrado en toda la labor anteriormente expuesta, es cifra suficientemente aproximada para obtener consecuencias de índole general, fin último de este trabajo.

Los transportes por carreteras en las obras hidráulicas

Las grandes obras hidráulicas necesitan, para su ejecución, el transporte de un gran tonelaje de materiales; cemento, maquinaria, tubería para los saltos, etcétera. Generalmente estas obras se encuentran a gran distancia de ferrocarril, suponiendo el transporte por carretera un incremento importante en el presupuesto de la obra, incremento difícil de determinar en muchas ocasiones.

Por si algo puede servir un ejemplo, me atrevo a reseñar el que se le presentó a la Hidroeléctrica Ibérica en el Salto del Cinca (Pirineos de Huesca), y los precios a que obtuvo la unidad de transporte.

Descripción de las obras

El aprovechamiento del Cinca de que se trata está situado en el nacimiento de este río: tiene 20 km de canal, derivando las aguas de los ríos Cinca, Barrosa y Chisagties con sendas presas, de derivación las dos últimas, y creando un pequeño embalse de regulación semanal la primera, con una presa de 5 m de altura, mixta de escollera y tierra. El salto obtenido sobre Lafortunada es de 453,50 m, utilizándolo por medio de una tubería de 1 600 m de longitud.

Del depósito de carga, de una capacidad de 35 000 m³, parten dos tuberías de hormigón armado de 1,60 m de diámetro interior, hasta la presión de 6 atmósferas; sigue de chapa de palastro roblonada hasta las 18 atmósferas, enlazando con la compuesta de tubos Mannesmann hasta las 33 atmósferas. Después se trifurca la tubería por medio de piezas especiales, reduciéndose su diámetro interior a 1,20 m y continuando hasta la Central con tubos Mannesmann. Tanto el canal como la tubería son capaces de 12 m³ por segundo de caudal.

En la Central se han instalado tres grupos de 20 000 CV cada uno, compuestos de una rueda Pelton de eje vertical, con tres inyectores y un alternador trifásico de 15 000 kv de potencia a 6 600 voltios de tensión. En la explanada inmediata a la Central, a la intemperie, se eleva la tensión a 132 000 voltios por medio de transformadores monofásicos de 5 200 kv-a, transportándose la energía a Bilbao por una línea de seis conductores de aluminio sobre postes metálicos, y de una longitud de 285 km.

Para la ejecución de las obras descritas y para el desarrollo de los varios proyectos que la Hidroeléctrica tiene en esta zona, se construyeron 20 km de carretera, un salto auxiliar de 400 CV, varios kilómetros de caminos y sendas, una pequeña fábrica de cemento natural y otra de cemento portland, de 20 ton de producción diaria.

Las obras se comenzaron en los primeros meses de 1919, funcionando un grupo de 20 000 CV en enero de 1923, el segundo en julio del mismo año y el tercero en septiembre de 1926.

Tonelaje transportado.—La Central está situada en Lafortunada, a 84 km de Barbastro, la estación de ferrocarril más próxima, y unida a ella por las carreteras de tercer orden de Barbastro a la Frontera (18 km), El Grado a Broto (46 km) y Ainsa a la Frontera (20 km), con fuertes rampas, curvas de poco desarrollo, sobre todo en el Puerto del Pino, y firme mal conservado.

Indicados los plazos en que se efectuaron las obras se comprenderá la gran intensidad de transporte en los años 1920, 21 y 22, en los que hubo que arrastrar más de 1 000 t de maquinaria hidroeléctrica, 2 600 t de tubería, 3 000 de carbón para las fá-

bricas de cemento y más de 2 000 de víveres para los obreros, dado lo poco poblado y pobre de la zona donde se desarrollaron los trabajos.

Como resumen podemos decir que desde mediados de 1919 a 1.º de enero de 1926, se han transportado desde Barbastro a las obras 24 775 t, más unas 8 000 dentro de las mismas. De este número, 316 ton corresponden a piezas de más de 12 t, y 1 700 a más de 5.

Medios de transporte.—Para las piezas de más de 10 t de peso se ha empleado un tractor Fowler, de vapor, de 40 CV, que arrastraba un remolque. Las mayores piezas transportadas han sido los seis medios estator de los alternadores, que pesaban cada uno 24 000 kg.

Toda la tubería se ha transportado con camiones arrastrando remolques de dos ruedas. El resto de los materiales con camiones y algunos carros, sobre todo en el primer año.

La necesidad en que se encontraba la Hidroeléctrica de terminar lo más rápidamente posible el salto para suministrar energía a su mercado, que lo demandaba imperativamente, la obligó a atacar de frente el problema de los transportes, quizá el más difícil de la obra, y a adquirir 21 camiones, además del tractor ya citado.

Precio por tonelada-kilómetro.—A base de estos camiones y en el plazo comprendido entre fines del año 1919 y enero de 1925, vamos a deducir el precio de la unidad de transporte, tomando como tal la tonelada-kilómetro.

Se ha llevado nota cuidadosa del coste de lo transportado por cada camión, gasto de esencia, bandajes, importe de nóminas, reparaciones, etc., y los kilómetros recorridos, entendiendo como tales solamente los efectuados con carga, para deducir el precio unitario.

A todos los gastos se han sumado los que suponen el interés del capital invertido en camiones (5 por 100) y la amortización, calculando ésta por la depreciación de cada uno al cabo del período de tiempo estudiado.

Con estos datos se han formado los cuadros números 1 y 2. En el primero se indica el precio de la tonelada-kilómetro por camión, sin amortización e interés y con ellos, y el precio medio de todos los transportes efectuados.

Estos precios han variado de 2,20 ptas. a 0,85, siendo la media 1,091 ptas. la tonelada-kilómetro. Fijándonos solamente en los Saurer, Renault y U. S. A., que han sido los camiones que más han trabajado, el precio medio de la tonelada-kilómetro, con amortización e intereses, ha sido de 0,983 ptas. Hemos, sin embargo, incluido los *desgraciados* por sus averías o mala compra, para deducir una media influenciada por todos los factores.

En el cuadro núm. 2 se ha indicado el precio medio de la gasolina, aceite y bandajes, en el plazo estudiado, y los tantos por ciento que el importe de estas partidas suponen con relación al total. Estos tres factores han sufrido grandes variaciones en el quinquenio 1920-26, sobre todo el precio de la gasolina, que resulta muy elevado con relación al actual. A esto es debido también el precio deducido para la tonelada-kilómetro, que a pesar del género de materiales transportado, parece alto.

El precio unitario puede descomponerse en un 30,8 por 100 de gastos debidos a la esencia, 4,2 por 100

al engrase, 16,9 por 100 a los bandajes, 24,5 por 100 a gastos de personal y reparaciones, y 23,6 por 100 al interés y amortización del capital.

Con el tractor y remolque, es decir, para piezas de más de 10 ton de peso, el precio de la tonelada-kilómetro ha sido de 2,58 ptas., sin amortización e intereses, y 3,38 ptas. con ellos, correspondiendo un 12,2 por 100 al combustible y un 23,5 por 100 al interés y amortización.

Generalización del precio de la tonelada-kilómetro.—Para que el precio deducido tenga aplicación en cualquier caso en función de los precios de gasolina, aceite y bandajes (ya que los demás precios son sensiblemente uniformes), puede deducirse del cuadro la siguiente fórmula:

$$P = p \left(0,481 + 0,308 \frac{g'}{g} + 0,042 \frac{a'}{a} + 0,169 \frac{b'}{b} \right)$$

siendo P , el precio de la tonelada-kilómetro que se busca; p , el deducido del cuadro; g' , a' y b' , los precios actuales de la gasolina, aceite y bandajes, y g , a y b , los correspondiente en el cuadro núm. 2.

La fórmula simplificada y con los datos anteriores será

$$P = 0,525 + 0,322g + 0,0178a + 0,00269b$$

Con los precios actuales de 0,63 ptas. el litro de gasolina en Barbastro, 1,80 ptas. el de aceite y 695 pesetas el bandaje (medio entre los de las ruedas delanteras y traseras y contando los gigantes como dobles), el precio que se deduce de la fórmula anterior es de 0,94 ptas. la tonelada-kilómetro. Con los tres camiones Saurer, con los que actualmente se hace servicio de transporte en las obras del Cinca, resulta la tonelada-kilómetro a 0,87 ptas., y con los precios del cuadro núm. 1 y la citada fórmula resulta a 0,85 ptas.

Aun se puede tener en cuenta en la fórmula el perfil de la carretera. Aunque se han hecho transportes dentro de la zona de la obra, los principales han sido desde Barbastro a la Central, y éste será el perfil que tendremos en cuenta, y cuyas rasantes y longitudes correspondientes aparecen en las dos primeras columnas del cuadro núm. 3.

Cuadro núm. 3

RASANTES	Longitudes L Metros	$\rho = \frac{F}{F_h}$	$L \times \rho$
Rampa de 6 por 100.....	500	3,4	1 700
» 5,5 »	6 420	3,2	20 544
» 5 »	2 631	3	7 893
» 4,5 »	368	2,8	1 030,4
» 4 »	5 963	2,6	15 503,8
» 3,5 »	1 909	2,4	4 581,6
» 3 »	1 889	2,2	4 155,8
» 2,5 »	2 184	2	4 368
» 2 »	5 756	1,8	10 360,8
» 1,5 »	3 843	1,6	6 148,8
» 1 »	9 490	1,4	13 188
» 0,5 »	6 576	1,2	7 891,2
Horizontal.....	7 994	1	7 994
Pendiente de 0,5 por 100.....	5 410	0,8	4 328
» 1 »	2 841	0,6	1 704,6
» 2 »	457	0,2	91,4
Pendiente mayor del 2 por 100.	19 839		
	84 000		111 483,4

Para establecer la influencia del perfil de la carretera en la tracción partiremos de la conocida expresión del esfuerzo aproximado de tracción

$$F = P(\omega \pm \operatorname{tg} \alpha)$$

siendo P , el peso del vehículo; ω , el coeficiente de tiro, es decir, el esfuerzo por unidad de carga, y α , el ángulo de la rasante con la horizontal.

El valor de ω , sin que podamos determinarlo exactamente por depender del radio de las ruedas, velocidad, engrase, etc., lo admitiremos de 0,025, dado el mal estado del firme, y como $\operatorname{tg} \alpha$ es el valor de la rampa o pendiente (i), aquella expresión quedará reducida a

$$F = P(0,025 \pm i)$$

Tomando como unidad de esfuerzo el correspon-

diente a la rasante horizontal, el coeficiente que expresa la influencia del perfil será

$$\rho = F : F_h = P(0,025 \pm i) : 0,025P = 1 \pm i$$

El coeficiente ρ correspondiente a todo el perfil es

$$\rho = \Sigma L \rho : \Sigma L = 111483,4 : 84000 = 1,327$$

y la rampa equivalente será 0,82 por 100. En la tercer columna del cuadro núm. 3, se encuentran los valores de ρ , y en la cuarta, los de $L \times \rho$.

Por último, el precio de la tonelada-kilómetro sobre cualquier perfil puede expresarse por la fórmula

$$P = \frac{\rho}{1,327} (0,25 + 0,322g + 0,017a + 0,00263b)$$

siendo ρ , el coeficiente de la carretera, deducido con el criterio anterior.

Enrique URIARTE
Ingeniero de Caminos

Cuadro núm. 1.—Precio de la tonelada-kilómetro

CAMIONES			Toneladas transportadas en total	Kilómetros recorridos	Número de Viajes	Reco-rrido medio — Kilómetros	Toneladas-kilómetro	Gastos totales de gasolina, aceite, bandajes personal y reparaciones — Pesetas	Precio de la tn-km sin amortización — Pesetas	Amortización e intereses — Pesetas	Gastos totales — Pesetas	Precio de la tn-km — Pesetas
Núm. de orden	Casa constructora	Carga unitaria — Toneladas										
1	Saurer.....	5	4 348,03	75 188	2.120	35,46	154 313,05	119 777,00	0,77	30 553	150 330,00	0,974
2	"	5	3 046,75	70 165	1.514	40,20	141 034,05	120 418,60	0,85	30 553	150 071,60	1,070
3	"	5	3 106,88	96 487	1.890	62,15	198 680,09	150 960,17	0,75	30 553	181 513,17	0,913
4	Aries.....	3	401,37	18 151	233	77,42	30 074,06	27 740,28	0,92	14 779	42 519,28	1,413
5	"	3	447,82	17 792	287	61,99	27 760,36	25 506,89	0,91	14 779	40 285,80	1,415
6	"	3	232,97	9 692	129	75,13	17 533,03	20 267,56	1,15	14 779	35 046,56	1,098
7	"	3	315,52	14 492	187	77,51	24 455,95	21 972,95	0,89	14 779	36 751,95	1,602
8	Derliet.....	3,50	314,45	13 082	171	76,01	23 001,34	23 863,67	0,90	12 358,75	30 222,42	1,515
9	Selden.....	4,50	236,49	8 902	115	77,10	18 233,37	16 510,38	0,90	3 910	20 426,38	1,120
10	Renault.....	7	1 223,54	31 054	380	83,01	101 566,05	78 524,73	0,77	18 900	97 424,73	0,959
11	"	7	1 133,77	26 478	330	80,26	90 096,38	67 553,55	0,74	18 900	86 453,55	0,950
12	Bussing.....	6	907,47	17 239	303	47,49	42 095,75	32 373,47	0,75	24 200	56 573,47	1,315
13	"	6	221,88	23 042	332	69,10	15 331,00	11 509,23	0,75	24 200	35 709,23	2,320
14	"	6	1 070,35	12 114	182	61,08	65 376,97	50 020,76	0,76	24 200	74 220,76	1,535
15	U. S. A.....	5	815,92	18 742	355	52,50	42 835,80	35 316,81	0,82	3 937,50	39 254,31	0,916
16	"	5	1 455,32	28 332	559	41,30	60 104,08	47 295,06	0,78	3 937,50	51 233,40	0,852
17	"	5	991,35	23 348	451	51,54	51 094,17	47 834,02	0,93	3 937,50	51 771,52	1,015
18	"	5	1 121,21	24 062	551	41,65	46 098,30	45 067,12	0,97	3 937,50	49 004,62	1,062
19	"	5	1 480,71	20 620	729	26,02	39 800,71	37 264,33	0,93	3 937,50	41 201,83	1,033
20	"	5	1 401,22	21 494	738	27,75	38 883,55	46 003,08	1,18	3 937,50	49 040,58	1,284
21	Piat.....	3,50	664,03	9 021	348	23,11	15 366,53	16 234,84	1,05	17 000	33 834,84	2,201
			25 028,85	580 110			1 247 102,48	1 042 621,4	0,83	318 608,75	1 361 290,21	1 091

Cuadro núm. 2.—Descomposición de los gastos de la tonelada-kilómetro

Núm. de orden de los camiones	Gastos totales — Pesetas	GASOLINA				ACEITE				BANDAJES				Gastos de personal, reparaciones y piezas	
		Número de litros gastados	Importe total — Pesetas	Precio medio del litro — Pesetas (g)	Por 100 del gasto total	Número de litros	Importe total — Pesetas	Precio medio del litro — Pesetas (a)	Por 100 del gasto total	Número gastado	Importe total — Pesetas	Precio medio — Pesetas (b)	Por 100 del importe total	Importe total — Pesetas	Por 100 del importe total
1	150 330,00	48 993	49 000,96	1,01	33,2	1 057	2 750,28	2,60	1,8	31	23 826,72	768,00	15,8	43 239,10	28,7
2	150 071,60	44 445	44 111,06	0,99	29,2	1 370	3 654,25	2,64	2,4	40	31 764,01	704,10	21	40 880,28	27,1
3	181 513,17	66 483	71 934,54	1,08	39,6	2 193	5 525,38	2,51	3	47	33 259,00	707,65	18,4	40 240,65	22,2
4	42 519,28	10 383	13 497,00	1,30	31,7	1 032	2 268,78	2,19	5,3	9	4 876,40	541,82	11,5	7 097,20	16,7
5	40 285,80	8 538	11 019,00	1,29	27,3	1 027	2 203,90	2,14	5,5	10	4 906,04	490,01	14	7 376,06	18,3
6	35 046,56	5 956	7 742,86	1,30	22	728	1 613,94	2,21	4,6	11	5 827,71	529,79	16,6	5 083,05	14,5
7	36 751,95	7 914	10 205,60	1,30	28	701	1 760,42	2,22	4,8	4	2 847,50	711,87	7,7	7 060,43	19,2
8	30 222,42	6 816	8 860	1,30	24,4	267	501,63	2,21	1,6	12	6 750,80	562,56	18,6	7 660,44	21,1
9	20 426,38	6 520	8 488,60	1,30	41,5	324	719,23	2,22	3,5	6	3 424,60	570,57	16,8	3 885,10	19
10	97 424,73	29 058	32 551,70	1,12	33,4	1 869	4 060,05	2,65	5	29	22 127,94	763,03	22,6	18 884,14	19,4
11	86 453,55	22 896	26 135,65	1,14	30,2	2 186	5 347,98	2,44	6,1	23	18 731,46	814,41	21,6	17 338,40	20
12	56 573,47	11 703	12 423	1,06	21,9	922	2 482,08	2,69	4,3	11	7 480,27	680,84	13,8	9 978,57	17,6
13	35 709,23	6 109	6 106,50	1,10	17,1	440	1 088,58	2,42	8	4	2 091,44	522,86	5,8	2 222,71	6,2
14	74 220,76	10 175	18 000,60	0,98	25,4	1 365	8 880,14	2,84	5,1	10	10 782,52	973,90	14,6	16 451,50	22,1
15	39 254,31	14 894	14 710	0,98	37,4	816	2 310,40	2,83	5,0	10	5 731	573,10	14,6	12 556,41	31,9
16	51 233,46	20 111	19 198,80	0,95	37,4	1 479	4 190,80	2,83	8	12	7 501,50	625,12	14,6	16 404,86	32,4
17	51 771,52	18 644	17 349	0,93	33,5	1 061	2 959,70	2,78	5,8	17	10 517	618,04	20,6	17 008,32	32,8
18	49 004,62	10 441	18 213	0,93	36,7	734	1 096,75	2,72	4	12	7 640,50	637,45	15,4	17 807,87	35,8
19	41 201,83	11 159	10 140,41	0,90	24,6	1 055	2 879,80	2,72	6,0	9	5 784	642,67	14	18 460,12	44,5
20	49 040,58	15 258	14 248,40	0,93	28,5	1 271	3 483,10	2,74	7	17	11 342,50	687,20	22,6	16 029,08	33,8
21	33 834,84	3 776	4 414,80	1,16	13	363	857,33	2,36	2,5	8	3 727,40	465,02	11	7 235,31	21,3
1 361 290,21		897 122	420 318,48	1,05	30,8	22 368	57 526,11	2,57	4,2	338	230 958,31	683,30	16,9	333 818,56	24,5