

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS

PUBLICACION TECNICA DEL CUERPO DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

DIRECTOR

D. MANUEL MALUQUER Y SALVADOR

COLABORADORES

LOS INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

SE PUBLICA LOS JUEVES

Dirección y Administración: Plaza de Oriente, 6, primero derecha.

El material móvil de los ferrocarriles eléctricos

POR

H. E. O'BRIEN

Para determinar el interés que puede presentar la electrificación de una línea de ferrocarril es preciso tener en cuenta los tres factores siguientes:

- 1.º La frecuencia de las paradas.
- 2.º La velocidad media de los trenes; y
- 3.º El peso de los trenes.

La frecuencia de las paradas se fija según la naturaleza de las regiones que tiene que atravesar. En cuanto á la velocidad media de los trenes se fija por las condiciones del tráfico. La principal ventaja de la electrificación consiste en poder aumentar el número de trenes y la distancia para poder llegar cómodamente á todas las localidades suburbanas. Como regla general debe admitirse que no debe excederse una duración de recorrido superior á cuarenta y cinco minutos, á la velocidad media de 48 kilómetros por hora; esta duración corresponde, aproximadamente, á un recorrido de 36 kilómetros. Si la separación media de las estaciones es de unos 1.500 metros, esta velocidad puede considerarse prácticamente como un máximo.

El empleo de material ligero es de la mayor importancia, especialmente en el caso de trenes de gran velocidad, cuando las estaciones están muy próximas. El consumo de energía varía, en efecto, casi en razón directa del peso de los trenes. Ahora bien, el único factor que es susceptible de variación, y que, por lo demás, desempeña un importante papel en el problema, es el peso del material móvil. Es, pues, de suma importancia conseguir un material que permita disponer de un gran número de asientos por toneladas.

No debe intentarse obtener la ligereza de construcción empleando materiales ligeros, y que presentan con menor peso la misma resistencia de los materiales usuales para no reducir el coeficiente de seguridad del material; pero como el precio de estos materiales es generalmente crecido, será conveniente determinar dentro de qué límites un aumento de gastos en la instalación del material estaría compensado por una economía correspondiente en los gastos de explotación.

Admitiendo un consumo de 60 vatios-hora en los extremos de los *feeders* de alta tensión y un recorrido medio anual de 100.000 kilómetros, cada tonelada de coche-motor exige 6.000

kilovatios-hora por año, ó sea un gasto anual de 300 pesetas para un precio de kilovatio-hora supuesto igual á 5 céntimos.

En un servicio de gran velocidad el coste de las reparaciones del material móvil alcanza, aproximadamente, 125 pesetas por tonelada y año, y la conservación de los carriles exige en igual tiempo y por tonelada 25 pesetas, y añadiendo el gasto de energía, puede calcularse el total en 450 pesetas por tonelada de coche-motor.

Para los coches remolcados, siendo el gasto de energía igual, los gastos de conservación son menores, se reducen á unas 350 pesetas. Dado que el precio de la tonelada de coche-motor se eleva, aproximadamente, á 1.750 pesetas y la de coche remolcado á 1.100 pesetas, teniendo en cuenta el interés y la amortización al 10 por 100 de los capitales empleados, las cargas anuales se elevarán, respectivamente, á 625 pesetas por tonelada de coche-motor, y á 460 pesetas por tonelada de coche remolcado, y cada tonelada de menos corresponderá á una economía de igual importancia.

En otras palabras, será conveniente emplear materiales más caros y más ligeros en el caso particular que hemos elegido, si el aumento no excede, respectivamente, de 500 y 300 pesetas por tonelada de coche para cada tonelada disminuida en el peso de cada tipo de coche.

En lo que respecta á la determinación de la disposición que debe adoptarse para el arreglo interior de los coches, conviene observar que, en general, para un pequeño aumento del peso será más fácil aumentar la anchura que la longitud. Si se utilizan coches de 18 metros aumentando la anchura en 30 centímetros, se podrán aprovechar 15 asientos más, y suponiendo que el coche admita 100 asientos en total, resultará una economía correspondiente al 15 por 100 del capital de instalación del material móvil.

El aumento de peso se deberá únicamente al aumento de la anchura de la planta, del techo y de los asientos, lo que en un coche de 18 metros de longitud supone, aproximadamente, 750 kilogramos, ó sean 50 kilogramos por asiento suplementario, mientras que empleando coches suplementarios, para obtener igual aumento de capacidad, exigiría un aumento de peso de 250 kilogramos por asiento suplementario.

La longitud máxima de los coches está ordinariamente determinada por la curvatura admitida en las vías. En cuanto á la disposición de los coches parece á la vez más práctico y más barato utilizar preferentemente los coches corridos que no los compartimientos separados, pues exigen menos entretenimiento y resulta más fácil la calefacción y ventilación.

CUADRO I. — Coches motores.

	1		2	3	4	5	6	7		8	9		10	11	12		13	14
	4	250	2	4	4	4	2	2	150	4	2	150	2	200	2	25/140	2	250
Número de motores por coche.....	4	250	2	4	4	4	2	2	150	4	2	150	2	200	2	25/140	2	250
Potencia de los motores en caballos.....	150	250	125	150	200	100	100	150	150	175	210	150	125	200	2	20/225	200	250
Temperatura en grados centígrados para la determinación de la potencia	24	24	57	47	57	»	»	»	»	57	57	57	42	57	57	57	»	57
Relación de transmisión.....	1,05	2,48	3,94	3,5	3,5	2,8	2,79	3,24	3,24	4,23	2,93	3,08	1,61	1,88	3,8	3,15	2,3	»
Díámetro de las ruedas en centímetros.....	105	110	87,5	95	95	82,5	90	90	90	108,7	108,7	108,7	93,1	90	85,6	85,6	90	»
Número de vueltas por minuto en 48 kilómetros por hora.....	470	568	1 140	927	927	853	778	904	904	977	676	850	436	524	1 120	950	640	»
Peso de los motores de la transmisión en kilogramos.....	2 850	4 200	1 970	2 320	2 750	1 780	1 900	1 770	1 770	2 880	3 300	2 600	1 960	2 750	2 110	2 920	2 700	3 550
Peso del motor por caballo en kilogramos.....	18,7	16,6	15,8	15,3	15,8	17,8	19,8	11,8	11,8	16,5	14	17,3	15,6	13,7	15,9	13,2	15,5	»
Longitud de los carretones entre ejes en centímetros.....	240	300	180	210	210	180	210	210	210	240	255	255	210	210	180	200	210	»
Peso del coche en toneladas.....	51,5	67	23	40,3	44	36,75	20	30	29,75	51,5	40	38	39,95	47,22	25,15	34,75	47,5	»
Peso del carretón motor con la dotación completa en toneladas.....	12,5	17,85	7,7	9,8	12	9,5	5	9,7	9,7	13,8	12,80	12,1	9,45	12,27	8,84	11,87	12,5	7,14
Peso del carretón sin motores en toneladas.....	6,5	8,85	3,7	5,2	6,56	5,97	3,05	6,2	6,2	8,1	7	6,05	5,57	6,3	4,66	6,1	7,15	»
Peso del coche con la dotación completa en toneladas.....	25,45	31,7	13,3	20,70	20	17,75	9,85	16,67	16,42	23,91	22,7	21,4	20,62	29,77	12,47	18,25	29	24,33
Peso de la dotación eléctrica en toneladas, no comprendida la bomba del freno.....	14,33	23,67	5	14	18	9,30	2,57	5,6	5,6	18,85	14,45	11,55	9,65	8,5	7,31	11,62	»	5
Longitud del coche en metros.....	18,00	19	13,65	15,55	15,55	18	13,50	16,95	16,95	17,30	18	18	16,15	18,60	14,10	15,30	19,35	19,55
Anchura del coche en metros.....	2,95	2,95	2,35	2,65	2,65	2,60	2,80	2,70	2,70	2,40	2,70	2,70	2,55	2,90	2,65	2,65	2,95	3,10
Longitud interior en metros.....	12,75	10,90	10	10,40	10,40	12,50	12	10,50	13,50	»	15,60	15,60	13,30	14,70	11,70	11,70	16,10	»
Distancia entre centros de los carretones en metros.....	12,15	13,50	8,70	10,50	10,50	13,20	9,60	12	12	11,20	12,60	12,60	10,30	11,55	9,95	10,80	11,90	»
Superficie de planta en metros cuadrados.....	48	54	33	38	37	40,5	36	45	45	37	45	45	42	47,5	37	40,5	45	»
Idem reservada á los viajeros.....	36	31,5	21	30	29	30	26,5	27,5	26	34,5	39,5	39,5	35	38	32,5	36	44	»
Proporción en 1/1000 de la superficie utilizada en relación con la superficie total.....	73,8	57,9	64,5	79	78	74	95	61,75	79,5	92,5	87,45	87,45	83,5	80,4	87,5	88	96,6	»
Superficie utilizada por tonelada en metros cuadrados.....	0,64	0,47	0,93	1	0,72	0,81	1,55	0,92	1,20	1,37	0,99	1,04	0,79	0,72	1,16	0,90	»	»
Idem total por idem en id.....	0,96	0,81	1,45	1,30	0,93	1,10	1,65	1,49	1,51	1,48	1,12	1,20	0,95	0,90	1,33	1,05	»	»
Potencia necesaria para los frenos en kilovatios.....	3,3	3,3	»	»	6	»	»	3	3	6,6	»	»	7	4,74	4,45	»	25,2	»
Idem necesaria á la calefacción en idem.....	4,8	4,8	»	»	3,5	»	»	4,8	4,8	»	»	»	8,4	18	5,7	»	1,68	»
Idem id al alumbrado en idem.....	2,04	2,04	»	»	1,60	»	»	0,96	0,96	0,86	»	»	2,24	0,59	1,58	»	26,83	»
Idem total utilizada para los servicios auxiliares.....	10,14	10,14	»	»	11,10	»	»	8,76	8,76	7,46	»	»	17,28	23,33	11,73	»	0,003	»
Superficie de planta iluminada por buja en metros cuadrados.....	0,059	0,052	»	»	0,073	»	»	0,072	0,072	0,067	»	»	0,070	0,066	0,033	»	0,103	»

El problema de la calefacción de los trenes puede presentar una gran importancia, porque la carga correspondiente es bastante considerable cuando la temperatura es muy baja. El aumento de carga por calefacción durante los meses de invierno para un clima como el de Inglaterra, puede calcularse en un 9 por 100. Es de suma importancia disponer de aparatos de calefacción ligeros y susceptibles de poder ser retirados durante los periodos en que dejan de utilizarse.

Podrá emplearse en gran parte del material el aluminio, que presenta la doble ventaja de la ligereza y la de no ser atacado, exigiendo, por lo tanto, menos pintura que el acero y la madera. El mayor inconveniente del aluminio consiste en la deterioración en los puntos de unión con otras piezas; pero puede evitarse este defecto disponiendo las piezas de aluminio de un modo lo suficientemente invariable para suprimir el juego. Empleando aluminio en vez de acero para las planchas exteriores, se consigue una disminución de una media tonelada en el peso.

Como ejemplo se pueden dar las siguientes cantidades que permiten hacer la comparación entre los pesos y precios de los distintos materiales:

El peso de los cristales de un coche es, aproximadamente, el 1,4 por 100 del peso total. En cuanto a los asientos, si se utilizan los de respaldo reversible, no puede hacerse uso del aluminio porque es muy frágil. El empleo de asientos fijos permite ganar con los mismos materiales unos 4 kilogramos por asiento; y si se hace uso del aluminio ó de otros materiales de ligereza comparable, puede reducirse el peso, aproximadamente, á la mitad del de los asientos reversibles, ó sea en un peso total de tonelada y media, aproximadamente, se ganarían 750 kilogramos.

Para la construcción de los pisos se emplea, generalmente, la madera; sin embargo, puede utilizarse igualmente el acero ó el aluminio. Parece ser que en el porvenir se empleará con éxito el aluminio ondulado combinado con corcho.

El acero que actualmente se emplea en Inglaterra para la construcción de los bastidores presenta una resistencia de 30 á 40 kilogramos por milímetro cuadrado, con una dilatación mínima de 20 por 100. El empleo de aceros de gran resistencia como el acero al níquel, por ejemplo, debe dar resultados interesantes; en efecto, permitiría reducir, por lo menos, el peso del material en un 25 por 100, ó sea una rebaja de una tonelada en un bastidor de 18 metros que pesa, aproximadamente, 5 toneladas. Ciertamente es que resultaría un aumento en el precio de coste del material, pero este aumento no excedería del 100 por 100 del precio actual, ó sea 290 pesetas por tonelada.

Para la dotación eléctrica se empleará, igualmente, todo lo posible, aparatos y conexiones de aluminio, pero es preciso tener en cuenta que la dificultad de realizar las juntas puede conducir á aumentar los peligros de incendio. Además se dispondrán los aparatos de modo que estén todo lo bajo posible y próximos al centro de los carretones.

Los carretones del tipo ordinario empleados en Inglaterra en la tracción por vapor, están contruidos con muelles elípticos ó en espiral, colocados bien en el interior ó en el exterior de las ruedas. Colocando los muelles en el interior de los bastidores se tiene la ventaja de poderles dar mayores dimensiones, y, por otra parte, es conveniente emplear muelles en espiral que economizan, aproximadamente, 750 kilogramos por coche.

En lo que se refiere á los motores cuyas especialidades dependen de las condiciones de funcionamiento en cada caso particular, casi solamente puede recomendarse el empleo de motores de ventilación natural. Los cuadros I y II proporcionan algunos datos relativos á la construcción de material instalado, teniendo en cuenta algunas de las consideraciones expuestas en este artículo.

CUADRO II.—Coche remolcado.

	1	2	6	7	8
Diámetros de las ruedas en centímetros.....	105	72,5	75	»	82,5
Longitud del carretón entre ejes en metros.....	3	1,50	1,65	»	»
Peso del carretón en toneladas.....	5,06	2	3,5	4,5	3
Peso del coche en toneladas.....	14,85	9,50	12,75	13,25	»
Longitud del coche en metros.....	19,05	»	17,85	12,90	9,60
Longitud útil en metros..	16,60	11,70	14,95	10,50	»
Distancia entre centros de los carretones en metros.	13,50	8,85	»	8,55	6
Superficie total de planta en metros cuadrados....	52,8	»	39,9	32,3	24,8
Superficie útil de planta en metros cuadrados.....	48	28,5	35,8	26,7	23,9
Proporción en 100 de superficie utilizada con relación á la superficie total.	90,8	85,8	89	82,42	»
Superficie útil por tonelada en metros cuadrados....	19,5	21,9	18	15,8	»
Superficie total por tonelada en metros cuadrados.	20,4	25,5	20,1	18	»
Potencia necesaria para la calefacción en kilovatios.	4,8	»	»	4,8	»
Potencia necesaria para el alumbrado en kilovatios.	1,5	»	»	0,76	0,80

H.

Las representaciones mecánicas de los fenómenos eléctricos

POR

D. PAULINO CASTELLS Y VIDAL

Cuando trata el hombre de penetrar en los secretos de la Naturaleza, se encuentra siempre sin puntos de partida suficientemente sólidos para la conquista de su ideal; la ciencia que le ha de conducir en sus investigaciones, no puede brotar como manantial desprovisto de toda impureza, sino que, en su mismo origen, forzosamente ha de llevar el sello que caracteriza á toda obra humana imperfecta y mutable.

Pero en su afán de acercarse á la verdad, los hombres de ciencia trabajan de un modo incesante para desentrañar el *por qué* de todos los fenómenos naturales, y ante la imposibilidad de conseguirlo en absoluto, cifran hace mucho tiempo su triunfo en encontrar su explicación mecánica. ¿En qué consistiría esta explicación?

La respuesta no es tan sencilla como parece, pues sólo cabe decir que consistiría en deducir las leyes que rigen un fenómeno cualquiera, partiendo del menor número de hipótesis sobre los elementos que en él intervienen, y aplicando los principios de Mecánica admitidos como ciertos en aquel momento. Magno problema es, en verdad, aunque bien insignificante si se le compara con el total planteado, y bueno sería que conviniésemos todos en que, aun en el supuesto de alcanzar el triunfo, sería éste un triunfo muy relativo.

Dentro del conjunto de fenómenos que integran el mundo físico, y cuya explicación nos es más ó menos asequible, no cabe duda que los fenómenos eléctricos son los que menos explicables nos aparecen, llamando, por otra parte, nuestra atención que dichos fenómenos, los más oscuros en su origen, son los que dejan una estela más espléndida en las aplicaciones.

Es indudable que, si reproducimos un fenómeno con todos